



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

Julio Ramos dos Santos

**Elaboração de ferramentas para verificação de conformidades da qualidade da
água em sistemas de abastecimento de Santa Catarina**

Florianópolis
2024

Julio Ramos dos Santos

**Elaboração de ferramentas para verificação de conformidades da qualidade da
água em sistemas de abastecimento de Santa Catarina**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de Engenharia Sanitária e Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental

Orientador(a): Dr. Fernando Hymnô de Souza

Florianópolis

2024

Ficha catalográfica gerada por meio de sistema automatizado gerenciado pela BU/UFSC. Dados inseridos pelo próprio autor.

dos Santos, Julio Ramos

Elaboração de ferramentas para verificação de conformidades da qualidade da água em sistemas de abastecimento de Santa Catarina / Julio Ramos dos Santos ; orientador, Fernando Hymnô de Souza, 2024.

97 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Florianópolis, 2024.

Inclui referências.

1. Engenharia Sanitária e Ambiental. 2. Sistema de Abastecimento de Água . 3. Plano de Segurança da Água. 4. Conformidades da Qualidade de Água. I. de Souza, Fernando Hymnô. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. III. Título.

Julio Ramos dos Santos

Elaboração de ferramentas para verificação de conformidades da qualidade da água em sistemas de abastecimento de Santa Catarina

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental e aprovado em sua forma final pelo Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental.

Florianópolis, 18 de dezembro de 2024



Prof. Bruno Segalla Pizzolatti, Dr.
Coordenação do Curso

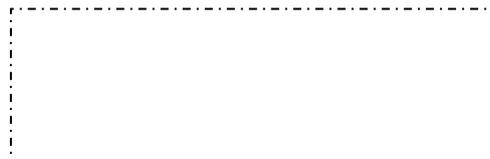
Banca examinadora



Fernando Hymnô de Souza, Dr.
Orientador



Prof. Ramon Lucas Dalsasso, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)



Eng.ª Giulianna Baron, M.a.
Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC)

Florianópolis, 2024

Este trabalho é consagrado a Deus, Aquele que me sustentou, deu-me forças e me capacitou para chegar até aqui. Sem Ele não seria possível e sem Ele não teria valido a pena.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho é o fruto de uma jornada longa, intensa e desafiadora, simbolizando a concretização de um sonho. Para que isso se tornasse realidade, muitas pessoas fizeram parte dessa caminhada, algumas de forma intensa e direta, compartilhando lágrimas e multiplicando sorrisos, enquanto outras, de maneira mais discreta, desempenharam um papel igualmente essencial.

Primeiramente, agradeço ao meu amigo Jesus Cristo por me conceder sabedoria e força para alcançar esta conquista, provendo tudo o que foi necessário para completar esta missão. Nos momentos de esgotamento e desânimo, Ele foi meu sustento e me trouxe alegria.

Não poderia deixar de mencionar minha amada mãe, Catia Regina Ramos, que fez tudo ao seu alcance para tornar possível a realização deste sonho. Sempre presente com suas orações, palavras de fé e esperança, apoiou-me incondicionalmente em cada etapa dessa jornada.

Da mesma forma, agradeço ao meu pai, Fabio Rodrigo dos Santos, que sempre fez questão de expressar seu orgulho pelo caminho que escolhi trilhar. Sua orientação, incentivo e disposição para ajudar em qualquer necessidade foram fundamentais para que eu pudesse avançar com confiança e determinação.

Agradeço ao meu tio e professor de matemática, Orlando Silva, que foi fundamental nos meus anos iniciais de graduação. Com muita alegria e disposição, sempre tirava um tempo precioso para esclarecer minhas dúvidas em cálculo, deixando sua marca de generosidade, pela qual guardo profunda gratidão em minhas memórias.

Sou imensamente grato também aos meus colegas de graduação, com destaque especial ao meu amigo e irmão de coração, Kauan Barcelos. Durante sete anos, compartilhamos as cadeiras da graduação, os tempos de estudo e a realização dos trabalhos. Sua parceria tornou muitos dos desafios que surgiram possíveis de serem enfrentados e superados. Juntos, dividimos algumas lágrimas e, principalmente, muitas risadas, fortalecendo uma amizade que levarei para a vida.

Agradeço também a todas as pessoas que abriram as portas de estágio e me proporcionaram oportunidades para o meu desenvolvimento profissional. Em especial, meu agradecimento vai à professora e amiga Marina de Medeiro Machado, que foi a precursora desse processo, oferecendo-me a primeira oportunidade e

acreditando no meu potencial. Posteriormente, expressei minha gratidão à equipe da Veolia, onde tive minha primeira experiência em uma empresa privada, o que despertou ainda mais meu interesse pela área. Agradeço também à empresa Ypora, por demonstrar que é possível, no mercado privado, realizar um trabalho com qualidade e propósito. Por fim, meu sincero agradecimento à equipe da MPB Engenharia, que proporcionou um expressivo crescimento profissional, confiando a mim tarefas de responsabilidade e oferecendo suporte fundamental nas últimas etapas da graduação.

Não poderia deixar de agradecer a todos os profissionais do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, especialmente aos professores do curso, que sempre se dedicaram a oferecer o melhor para os alunos, mostrando-se solícitos para esclarecer dúvidas e abertos ao diálogo, contribuindo significativamente para a minha formação.

Encerrando, expressei minha gratidão ao meu orientador, Fernando Hymnô, por conduzir este trabalho com segurança e serenidade. Sua constante disposição em esclarecer dúvidas e sua dedicação em oferecer total atenção foram fundamentais para o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo identificar ferramentas para monitoramento da qualidade da água em operações de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) para adequação às diretrizes de 2024, com foco na verificação de conformidades em Planos de Segurança da Água (PSA) em sistemas que utilizam mananciais superficiais para captação de água bruta. Essa verificação revela-se essencial diante da complexidade e quantidade de legislações existentes no setor, que frequentemente dificultam a manutenção da conformidade normativa pelos responsáveis pelos SAA. Para abordar esse desafio, o trabalho propõe a compilação e filtragem das legislações mais relevantes, organizando-as de forma a facilitar a comunicação interna e externa entre gestores, autoridades públicas e comunidade, por meio de ferramentas práticas como fluxogramas e listas de checagem (*checklist*). A análise foi baseada principalmente na Portaria GM/MS nº 888/2021 e na Resolução CONAMA nº 357, complementada por portarias estaduais mais restritivas e pelo PSA como norma orientadora. Utilizando a metodologia do PDCA, foram estruturadas árvores de decisões, organizando os parâmetros analisados para criar uma ferramenta prática de monitoramento mínimo da qualidade da água em mananciais superficiais, buscado a conformidade normativa com a Portaria GM/MS nº 888/2021 e com as legislações estaduais mais restritivas, e por consequência a segurança hídrica. A partir disso, foram elaborados fluxogramas que, por sua vez, deram origem aos *checklists*, os quais facilitam as ações a serem tomadas e servem como instrumento de controle e registro documentado, essencial para a rastreabilidade das conformidades ou não conformidades no sistema. Conclui-se que, apesar de ser uma ferramenta que se mostra promissora e auxiliadora, mais estudos são recomendados para otimizar sua aplicação prática e garantir maior eficiência, além de constantes atualizações conforme a legislação.

Palavras-chave: Água potável; Plano de Segurança da Água; Verificação de conformidades; Legislação de Saneamento.

ABSTRACT

This study aims to identify tools for monitoring water quality in the operations of Water Supply Systems (WSS) to ensure compliance with the 2024 Brazilian guidelines, focusing on conformity verification within Water Safety Plans (WSP) for systems that use surface water sources for raw water intake. Such verification is essential given the complexity and quantity of existing legislation in the sector, which often complicates the maintenance of regulatory compliance by those responsible for WSS. To address this challenge, the study proposes compiling and filtering the most relevant legislation, organizing it to facilitate internal and external communication among managers, public authorities, and the community, through practical tools such as flowcharts and checklists. The analysis was primarily based on Brazilian Ministry of Health Ordinance GM/MS nº 888/2021 and National Environment Council CONAMA Resolution nº 357, supplemented by more restrictive state regulations and the WSP as a guiding standard. Using the PDCA methodology, decision trees were structured, organizing the analyzed parameters to create a practical tool for minimum water quality monitoring in surface catchments, Aiming for regulatory compliance with Ordinance GM/MS No. 888/2021 and the more restrictive state legislation. Based on this structure, flowcharts were developed, which, in turn, gave rise to checklists that facilitate the actions to be taken and serve as instruments for documented control and record-keeping, essential for the traceability of compliance or non-compliance within the system. It is concluded that, although this tool proves promising and helpful, further studies are recommended to optimize its practical application and ensure greater efficiency, along with regular updates in line with evolving legislation.

Keywords: Drinking water; Water Safety Plan; Compliance verification; Sanitation legislation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Objetivos do Plano de Segurança da Água.....	23
Figura 2 – Atividades para verificação de Planos de Segurança da Água	26
Figura 3 – Modelo de um sistema de gestão da qualidade baseado em processo ...	30
Figura 4 – Fluxograma de aplicação do modelo <i>Risk Analysis Model by Stochastic Simulation</i> (RAMSS)	31
Figura 5 – Fluxograma Geral do Trabalho.	34
Figura 6 – Infográfico de acesso a Coleção de Normas da ABNT disponibilizado pela UFSC	37
Figura 7 – Legenda dos Elementos dos Fluxogramas	40
Figura 8 – Fluxograma da Estrutura para a Elaboração do Plano de Monitoramento dos Parâmetros Selecionados.....	44
Figura 9 – Fluxograma da Metodologia da Estruturação do Plano de Amostragem .	42
Figura 10 – Fluxograma do Plano de Amostragem	52
Figura 11 – Fluxograma de Monitoramento de Cianobactérias.....	56
Figura 12 – <i>Checklist</i> do Monitoramento de Cianobactérias	60
Figura 13 – Fluxograma do Monitoramento de <i>E.coli</i>	62
Figura 14 – <i>Checklist</i> do Monitoramento de <i>E.coli</i>	66
Figura 15 – Fluxograma do Monitoramento de Agrotóxicos	68
Figura 16 – <i>Checklist</i> de Monitoramento de Agrotóxicos	72
Figura 17 – Fluxograma do Monitoramento dos Limites Radiológicos	74
Figura 18 – <i>Checklist</i> do Monitoramento de Avaliação Radiológica.....	77
Figura 19 – Fluxograma do Plano de Monitoramento de Turbidez.....	79
Figura 20 – <i>Checklist</i> do Plano de Monitoramento da Turbidez na ETA	82
Figura 21 – Fluxograma do Monitoramento Integrado de Água Bruta.....	85
Figura 22 – <i>Checklist</i> do Monitoramento Integrado de Água Bruta	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Resumo das Legislações Vigentes.....	46
Tabela 2 – Resumo das Normas Vigentes.....	49

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
CASAN	Companhia Catarinense de Águas e Saneamento
CNEN	Comissão Nacional de Energia Nuclear
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETA	Estação de Tratamento de Água
NBR	Norma Brasileira
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
PPP	Parceria Público Privado
PSA	Plano de Segurança da Água
PSAA	Prestador de Serviço de Abastecimento de Água
SAA	Sistema de Abastecimento de Água para Consumo Humano
SAC	Solução Alternativa Coletiva de Abastecimento de Água para Consumo Humano
SAMAE	Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto
SIMAE	Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto
SINISA	Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SISAGUA	Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
UNT	Unidade de Turbidez
VIGIAGUA	Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano
VMP	Valor Máximo Permitido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	15
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo Geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
2.1	SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	18
2.2	LEGISLAÇÃO E NORMAS DE QUALIDADE DA ÁGUA.....	20
2.3	PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA (PSA).....	22
2.4	FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA	26
2.4.1.	Vigiágua	27
2.4.2.	Plano de Amostragem da Água	28
2.4.3.	Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act)	29
2.4.4.	Árvore de Decisão	30
2.4.5.	Outras ferramentas	31
3	METODOLOGIA	32
3.1.	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS LEGISLAÇÕES NACIONAIS E ESTADUAIS APLICÁVEIS AO SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	35
3.2.	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE NORMAS BRASILEIRAS ABNT PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA.....	36
3.3.	ANÁLISE, FILTRAGEM E CONSOLIDAÇÃO DAS LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS AO SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA	38
3.4.	SISTEMATIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES NORMATIVAS PARA APLICAÇÃO PRÁTICA	38
3.4.1.	Fluxogramas e Árvores de Decisões	38
3.4.2.	Checklist	40
3.4.3.	Estruturação para Elaboração do Plano de Amostragem Anual	41
3.4.4.	Estruturação para Elaboração do Plano de Monitoramento dos Parâmetros Selecionados	43
4	RESULTADOS	45
4.1.	RESUMO DAS LEGISLAÇÕES	45

4.2.	RESUMO NORMAS TÉCNICAS.....	48
4.3.	PLANO DE AMOSTRAGEM	51
4.4.	PLANO DE MONITORAMENTO E VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE EM MANANCIAL DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL	54
4.4.1.	Monitoramento De Cianobactérias	55
4.4.2.	Monitoramento De <i>Escherichia Coli</i>.....	61
4.4.3.	Monitoramento de agrotóxicos.....	67
4.4.4.	Monitoramento de Limites Radiológicos	73
4.4.5.	Monitoramento de Turbidez na ETA.....	78
4.4.6.	Monitoramento Integrado de Água Bruta	83
5	CONCLUSÃO	89
	REFERÊNCIAS.....	92

1 INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional global e a crescente demanda por água, as reservas de água doce enfrentam pressão, sendo contaminadas por despejos de esgotos, dejetos animais e efluentes industriais. Essa degradação contribui para a propagação de doenças transmitidas pela água, como diarreias agudas, representando um desafio significativo para a saúde pública (MORAES, 2002). No Brasil, até 2019, cerca de 35 milhões de pessoas viviam sem acesso a água potável e aproximadamente 100 milhões residiam em áreas sem coleta de esgoto, resultando em um alto número de internações e óbitos atribuídos a doenças relacionadas à falta de saneamento básico (TRATA BRASIL, 2021).

No Brasil, o saneamento básico é regulamentado pela Lei nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007, que estabelece diretrizes nacionais para o setor e reconhece esse serviço como essencial, garantido pela Constituição Federal de 1988 (BRASIL, 2007). Esse marco legal estabelece as bases para o planejamento e a normatização dos serviços de saneamento básico, essencial para garantir o acesso da população à água de qualidade e a serviços de esgotamento sanitário adequados (HELLER, 2011). A realização desse direito é impulsionada por investimentos públicos destinados a expandir e melhorar a infraestrutura de saneamento. De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS), o saneamento básico é definido como o controle dos fatores ambientais que podem afetar negativamente a saúde e o bem-estar das pessoas, incluindo a saúde física, mental e social (WHO, 2018).

Em 15 de julho de 2020, entrou em vigor no Brasil o Novo Marco Legal do Saneamento Básico (Lei nº 14.026). Em face da crítica situação do saneamento no país, onde mais de 33 milhões de brasileiros não têm acesso à água potável e quase 100 milhões carecem de coleta e tratamento de esgoto, o Novo Marco Legal estabeleceu metas ambiciosas para 2033. Dentre as metas, destaca-se que todos os municípios brasileiros devem garantir que 99% da população tenha acesso a serviços de água potável (TRATA BRASIL, 2023).

Devido à grande extensão territorial do Brasil, os índices de cobertura de água potável apresentam variações significativas entre as diferentes regiões. Conforme dados de 2022 do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS), a região Sul destaca-se com a maior taxa de cobertura, atingindo 91,6% da população. Em contraste, a região Norte enfrenta os maiores desafios, com apenas 64,2% dos

habitantes tendo acesso a esse serviço essencial. No geral, o Brasil possui uma cobertura média de abastecimento de água de 84,9%, atendendo aproximadamente 171 milhões de pessoas, com mais de 800 mil quilômetros de rede de água tratada. Para que isso seja possível, há uma gestão diversificada desses serviços, com diferentes tipos de prestadores (SNIS, 2023).

Com o objetivo de reunir informações detalhadas sobre o saneamento básico nos mais de 5,5 mil municípios brasileiros, o governo federal lançou, em 12 de junho de 2024, o Sistema Nacional de Informações em Saneamento Básico (SINISA), substituindo o SNIS (MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2024). No entanto, para o ano de 2024, os dados ainda estão em fase de coleta e, portanto, não estão disponíveis. Assim, os dados mais recentes disponíveis são os do SNIS referentes ao ano de 2023.

Dentro deste contexto complexo, o Plano de Segurança da Água (PSA) emerge como uma ferramenta vital para a gestão estratégica dos recursos hídricos. Seu propósito abrangente não se limita apenas a mitigar os riscos de contaminação em todas as etapas, desde a captação nos mananciais até o processo de tratamento, mas também se estende à implementação de medidas preventivas ao longo do sistema de abastecimento, da bacia de captação ao sistema de distribuição. Essa abordagem protege a qualidade da água consumida, mas também fortalece a infraestrutura sanitária, alavancando a saúde pública e contribuindo para o alcance da universalização do saneamento básico (WHO, 2011).

A Lei 14.026/2020 estabelece que o Sistema de Abastecimento de Água (SAA) compreende uma série de etapas, desde a reserva, captação e tratamento da água bruta até sua distribuição tratada aos consumidores finais, incluindo a instalação de instrumentos de medição (BRASIL, 2020). A complexidade desse processo demanda conformidade com diretrizes e regulamentos específicos por parte dos prestadores de serviço.

Dada a complexidade de operar um SAA em conformidade com as diversas normas, leis e resoluções vigentes, o PSA surge como uma ferramenta para a gestão preventiva dos riscos. Esse plano, composto por elementos-chave como análise de riscos, monitoramento de conformidade, satisfação do usuário e auditoria do PSA, proporciona uma avaliação abrangente da segurança, aceitabilidade e adequação do abastecimento de água. Essa abordagem combinada é importante para garantir o controle eficaz dos riscos e a gestão segura do fornecimento de água (WHO, 2023).

Embora as legislações sejam essenciais para garantir a qualidade e segurança dos serviços de abastecimento de água, ainda há uma série de dificuldades relacionadas à sua interpretação e clareza. Muitos regulamentos são excessivamente técnicos e complexos, o que acaba dificultando a compreensão por parte dos gestores e operadores dos sistemas de abastecimento. Além disso, a existência de normas sobrepostas em diferentes níveis de governo — federal, estadual e municipal — pode gerar ambiguidades e conflitos, comprometendo tanto a aplicação quanto a fiscalização dessas políticas (MACHADO, 2019).

Diante dessa necessidade, torna-se imperativo empregar ferramentas de verificação de conformidade para operar um sistema de abastecimento de água. Essas ferramentas visam garantir uma comunicação clara entre as exigências e orientações estabelecidas, a execução realizada pelas empresas prestadoras de serviços e a percepção recebida pelos beneficiários do serviço, ou seja, a população, objetivando estabelecer um plano mínimo de monitoramento para os prestadores de serviços de abastecimento de água, com ênfase na conformidade com a legislação em vigor, algo também preconizado no PSA (WHO, 2023).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Identificar ferramentas para monitoramento da qualidade de água em operação de SAA que utilizam manancial de captação superficial, para adequação a diretrizes existentes no ano de 2024 com foco na verificação de conformidades em planos de segurança da água.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Compilar as diretrizes estabelecidas em legislação e normas relacionados a SAAs;
- Identificar ferramentas para simplificar a comunicação e implementação do plano de monitoramento para prestadores de serviço de abastecimento de água;
- Propor um *checklist* de monitoramento mínimo com foco na verificação de conformidades atendendo a legislação vigente.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 SISTEMA DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Os SAA são conjuntos de infraestruturas e procedimentos técnicos destinados a captar, tratar, armazenar e distribuir água potável para a população. A água é essencial para a saúde pública, atividades econômicas e qualidade de vida, tornando os SAA fundamentais para qualquer sociedade (FUNASA, 2016). Esses sistemas são compostos por diversos componentes, cada um com funções específicas e essenciais para garantir a qualidade e disponibilidade da água.

A captação é o primeiro componente do SAA e envolve a retirada da água de fontes naturais, como rios, lagos e aquíferos. A captação pode ser superficial, como rios, lagos, reservatórios, ou represas, onde a água está disponível na superfície terrestre, ou subterrânea, por meio de aquíferos, que são formações geológicas que armazenam água abaixo da superfície (DI BERNARDO & DANTAS, 2005). Em seguida, a adução de água bruta ocorre, sendo o transporte da água captada até a estação de tratamento por meio de tubulações ou canais. O tratamento da água é uma etapa crucial e envolve processos físicos, químicos e biológicos para remover impurezas e contaminantes, tornando a água potável. Entre as etapas de tratamento convencional estão a coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção (MOURA, 2011), sendo a desinfecção obrigatória em todos os tipos de sistema (BRASIL, 2021). Após o tratamento, a água é armazenada em reservatórios para garantir a regularidade no fornecimento, mesmo durante períodos de alta demanda ou interrupções na captação ou tratamento. Finalmente, a distribuição envolve o transporte da água tratada dos reservatórios até os consumidores finais através de uma rede de tubulações (VON SPERLING, 2005).

A gestão do SAA no Brasil é de responsabilidade de diferentes entidades, que podem ser públicas ou privadas, dependendo da região e das políticas locais. Geralmente, a gestão dos serviços de abastecimento de água é realizada por empresas estaduais de saneamento básico, prefeituras municipais ou empresas privadas (TUCCI, 2007). No Brasil, a gestão dos serviços de abastecimento de água é realizada por diferentes entidades, incluindo administrações públicas diretas, empresas públicas, sociedades de economia mista e empresas privadas. De acordo com as informações de Resende et al. (2021), o modelo de prestação de serviços de abastecimento de água no Brasil é, em grande parte, operado por entidades da

administração pública direta, que são responsáveis por uma significativa parcela das operações, juntamente com empresas estaduais e municipais de saneamento, além da crescente participação de empresas privadas.

As autarquias, entidades autônomas da administração pública que possuem personalidade jurídica própria, são responsáveis por 32,34% dos serviços. Exemplos de autarquias incluem o Serviço Autônomo Municipal de Água e Esgoto (SAMA) e Serviço Intermunicipal de Água e Esgoto (SIMA) presente em diversas cidades. Empresas privadas têm uma participação menor, gerenciando 8,93% dos serviços de abastecimento de água (SNIS, 2023). Essa gestão privada pode ocorrer por meio de concessões e parcerias público-privadas (PPP), onde empresas assumem a operação e manutenção dos sistemas por um período determinado, visando aumentar a eficiência e a qualidade dos serviços prestados. As sociedades de economia mista, que são empresas com participação tanto do governo quanto de acionistas privados, também desempenham um papel significativo na gestão dos SAA. Empresas, como a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), combinam a flexibilidade da iniciativa privada com o controle público, buscando otimizar a prestação dos serviços. Além disso, existem as empresas públicas de administração direta, que são totalmente controladas pelo governo, e organizações sociais, entidades privadas sem fins lucrativos que atuam em parceria com o setor público, correspondem ao restante do percentual de prestadores de serviços de abastecimento de água. Essas organizações complementam a estrutura de gestão, trazendo diferentes modelos de administração e operação dos sistemas de água

Em Santa Catarina, o abastecimento de água é majoritariamente operado pela Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), uma sociedade de economia mista e de capital aberto, responsável pela captação, tratamento, distribuição e gestão de recursos hídricos no estado. A CASAN atua como concessionária no setor de saneamento, prestando serviços de gestão, operação e manutenção dos sistemas de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto. Esses serviços são viabilizados por meio de contratos de programa e convênios firmados com as prefeituras municipais, que concedem à Companhia o direito legal de realizar essas atividades essenciais (CASAN, 2023). No entanto, o Novo Marco Legal do Saneamento, instituído pela Lei nº 14.026/2020, provocou mudanças expressivas no setor de saneamento, promovendo a participação de empresas privadas e a adaptação dos SAMAes (Serviços Autônomos Municipais de Água e

Esgoto) nas operações de Sistemas de Abastecimento de Água (SAA). Com metas de universalização para 2033 — 99% da população com acesso à água potável e 90% ao tratamento de esgoto — o marco incentivou a criação de parcerias público-privadas (PPPs) e concessões, ampliando os investimentos e melhorando a eficiência dos serviços. Os SAMAEs, por sua vez, tiveram que se ajustar às novas exigências regulatórias, frequentemente firmando parcerias com o setor privado para garantir a modernização e a capacidade de atender às metas impostas (BRASIL, 2020).

As águas superficiais estão expostas a uma variedade de fatores que afetam diretamente sua qualidade, como condições climáticas, variações sazonais, atividades agrícolas e urbanas nas bacias hidrográficas, despejo de efluentes domésticos e industriais, erosão do solo e sedimentação. Em Santa Catarina, o uso intensivo de defensivos agrícolas nas atividades agropecuárias agrava esse cenário, especialmente durante períodos de chuva, quando resíduos químicos são transportados para os corpos hídricos por meio do escoamento superficial. Essa prática aumenta significativamente os riscos de contaminação dos mananciais superficiais, impactando parâmetros como turbidez, cor e pH, além de introduzir substâncias químicas tóxicas que representam ameaças à saúde humana (SILVA et al., 2015). Diante dessas vulnerabilidades, torna-se essencial a adoção de ferramentas eficazes para monitorar e gerenciar as especificidades desses sistemas de abastecimento de água.

2.2 LEGISLAÇÃO E NORMAS DE QUALIDADE DA ÁGUA

A garantia da qualidade da água é fundamental para a saúde pública, a proteção ambiental e o desenvolvimento econômico. As legislações e normas de qualidade da água desempenham um papel crucial nesse contexto, estabelecendo critérios e procedimentos para assegurar que a água fornecida à população seja segura e adequada para consumo. Seguir essas normas é essencial para prevenir doenças de veiculação hídrica, proteger ecossistemas aquáticos e promover a confiança pública nos sistemas de abastecimento de água (FENDRICH, 2015).

A existência de legislações e normas de qualidade da água é vital por várias razões. Primeiramente, garantem a proteção da saúde pública, assegurando que a água consumida pela população esteja livre de contaminantes físicos, químicos e biológicos que possam causar doenças. A Organização Mundial da Saúde (OMS) destaca que doenças transmitidas pela água contaminada são uma das principais

causas de mortalidade infantil em países em desenvolvimento (WHO, 2011). Além disso, essas normas são essenciais para a segurança ambiental, pois regulamentações ambientais ajudam a proteger corpos d'água de poluição provenientes de atividades industriais, agrícolas e urbanas, preservando a biodiversidade aquática (CONAMA, 2005).

A Resolução CONAMA nº 357/2005 estabelece a classificação dos corpos d'água e define diretrizes ambientais para o seu enquadramento, além de determinar os padrões de lançamento de efluentes. A referida resolução classifica os corpos d'água em 13 categorias, sendo que as águas doces superficiais estão divididas em cinco classes, de acordo com seus usos predominantes. A classificação vai desde a classe especial, com critérios mais restritivos, até a classe 4, que é a mais permissiva, dessas, apenas a classe 4 não são aptas para o consumo humano. As águas pertencentes às outras classes podem ser utilizadas para abastecimento público, desde que passem por desinfecção adequada ou por tratamentos simples, convencionais ou mais avançados, dependendo da qualidade inicial da água e dos requisitos necessários para torná-la potável (CONAMA, 2005).

No contexto do abastecimento público, as classes de uso definidas no processo de enquadramento ambiental orientam os tratamentos a serem aplicados para atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação brasileira, especialmente aqueles regulamentados pelo Ministério da Saúde através de portarias específicas. Esses padrões visam assegurar que a água distribuída atenda a critérios de segurança e qualidade, protegendo a saúde da população (KAUFFMAN, 2021).

As principais leis e regulamentações nacionais relacionadas à qualidade da água no Brasil incluem o ANEXO XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5 de 28 de setembro de 2017, alterado pela Portaria GM/MS Nº 888, de 4 de maio de 2021, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Outra legislação importante é a Lei nº 14.026 de 15 de julho de 2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico. Entre as metas, destacam-se garantir que 99% da população tenha acesso à água potável e 90% ao tratamento de esgoto (BRASIL, 2020)

No âmbito estadual, cada unidade federativa possui suas próprias regulamentações para complementar e especificar as normas nacionais. Em Santa Catarina, por exemplo, o decreto nº 1.846, de 20 de dezembro de 2018 regulamenta

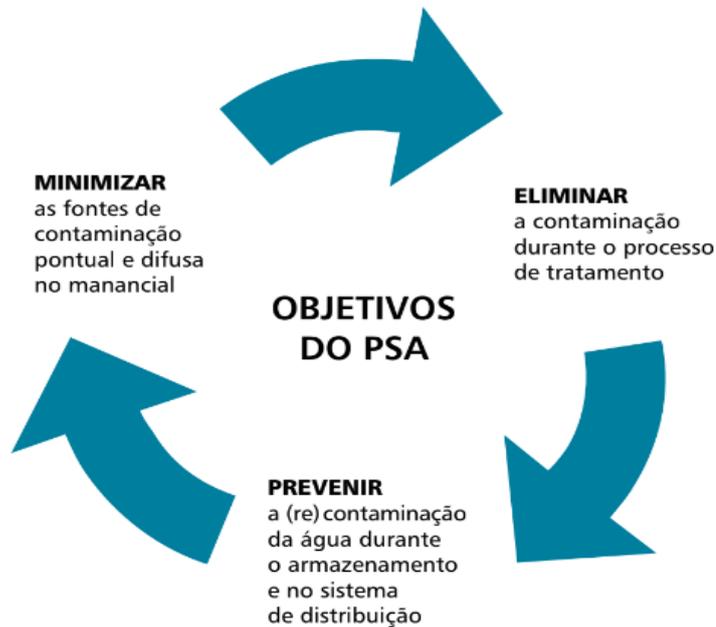
o serviço de abastecimento de água para consumo humano no estado (SANTA CATARINA, 2018).

Apesar da importância dessas legislações, há diversas dificuldades de interpretação e clareza que podem comprometer sua efetividade. Muitos regulamentos são complexos e técnicos, o que pode dificultar a compreensão por parte dos gestores e operadores de sistemas de abastecimento de água. Além disso, a sobreposição de normas federais, estaduais e municipais pode gerar conflitos e ambiguidades, dificultando a implementação e fiscalização adequada das políticas de qualidade da água (MACHADO, 2019).

2.3 PLANO DE SEGURANÇA DA ÁGUA (PSA)

Os PSA são documentos estratégicos que visam garantir a gestão da qualidade da água desde a fonte até a torneira do consumidor. Esses planos são elaborados com base em uma abordagem preventiva, focando na identificação e gerenciamento de riscos potenciais à segurança da água. A principal finalidade de um PSA é proteger a saúde pública, assegurando que a água fornecida esteja em conformidade com os padrões de potabilidade estabelecidos (WHO, 2017).

Figura 1 – Objetivos do Plano de Segurança da Água



Fonte: Bastos (2010)

A responsabilidade pela elaboração e implementação dos PSA recai sobre os prestadores de serviços de abastecimento de água. Além disso, órgãos reguladores e autoridades de saúde pública desempenham um papel fundamental na supervisão e verificação do cumprimento desses planos, garantindo que todas as etapas e medidas preventivas sejam adequadamente executadas (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

Em Santa Catarina, o Decreto nº 1.846, de 20 de dezembro de 2018, determina em seu Artigo 6º que o PSA deve ser elaborado pelo prestador de serviços de abastecimento de água (PSAA), com o objetivo de identificar e priorizar os perigos e riscos presentes em todas as etapas do sistema, desde a captação no manancial até o consumidor final. O plano deve estabelecer medidas de controle para minimizar ou eliminar esses riscos, além de incluir processos que verifiquem a eficiência da gestão preventiva. Adicionalmente, o PSA deve contemplar Planos de Contingência, considerando o histórico da bacia hidrográfica e possíveis situações de desastres naturais ou antrópicos (SANTA CATARINA, 2018)

Um PSA deve conter várias etapas essenciais para assegurar sua eficácia. Inicialmente, deve incluir uma descrição detalhada do sistema de abastecimento de água, abrangendo desde a bacia de captação até a distribuição. Além disso, é necessário realizar uma análise de risco abrangente, identificando todas as possíveis

fontes de contaminação e avaliando seu impacto na qualidade da água. O plano também deve detalhar medidas de controle e monitoramento para mitigar os riscos identificados, estabelecendo procedimentos claros para a operação e manutenção do sistema. Ademais, é importante incluir um plano de contingência para lidar com emergências, garantindo a continuidade do fornecimento de água segura mesmo em casos de eventos inesperados (WHO, 2017).

A revisão do PSA consiste em um processo contínuo que verifica a correta implementação das etapas do plano e assegura que os objetivos de segurança da água estão sendo cumpridos. Isso inclui a análise de dados de monitoramento e a verificação da conformidade com as normas vigentes (NBR 17080, 2023; WHO, 2023). A importância da revisão do PSA inclui diversas atividades fundamentais, como o monitoramento contínuo da qualidade da água, auditorias internas e externas e a revisão regular do próprio plano. O monitoramento contínuo permite a detecção precoce de desvios nos parâmetros de qualidade da água, possibilitando ações corretivas imediatas. As auditorias internas são essenciais para avaliar a implementação prática das medidas de controle e a conformidade com os procedimentos estabelecidos. Auditorias externas, por sua vez, fornecem uma avaliação independente da eficácia do PSA, garantindo a transparência e a credibilidade do processo (WHO, 2017). A revisão regular do PSA assegura que todas as informações estejam atualizadas e que o plano continue adequado às condições atuais do sistema de abastecimento, promovendo a melhoria contínua e a proteção da saúde pública (MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2014).

Para assegurar um controle final eficiente do PSA, é realizada uma verificação global do plano, abrangendo toda a cadeia de abastecimento de água, garantindo que esteja alinhada com os objetivos de segurança e em conformidade com a legislação vigente. Este processo de verificação pode ser conduzido tanto por uma equipe interna do SAA quanto por uma organização externa (NBR 17080, 2023). O objetivo é garantir a entrega contínua de água com a qualidade especificada, atendendo rigorosamente às metas de proteção à saúde. Caso essas metas não sejam alcançadas, é necessário revisar e implementar o plano de melhoria para corrigir as deficiências e assegurar a conformidade.

Após a conclusão do PSA, é crucial manter o monitoramento contínuo das ações definidas. Esse processo envolve a escolha de parâmetros específicos que permitam avaliar o desempenho das medidas adotadas. Isso possibilita a identificação

rápida de falhas e a implementação de ações corretivas imediatas, bem como a adoção de ações preventivas para riscos previsíveis (AGERST-RS, 2023). O uso de ferramentas de monitoramento está diretamente relacionado à avaliação de riscos, identificação de perigos, estabelecimento de pontos críticos de controle e determinação dos locais adequados para monitoramento.

O monitoramento de conformidades em um PSA é uma ferramenta que confirma que regulamentos e padrões de qualidade da água potável estão sendo alcançado (WHO, 2023). Esse monitoramento envolve a avaliação contínua de parâmetros microbiológicos, químicos e físicos, garantindo que os sistemas operacionais estejam em conformidade com as regulamentações estabelecidas, tais como as diretrizes da Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Portaria Estadual de Santa Catarina nº 421, de 13 de maio de 2016.

A conformidade refere-se à verificação constante de que todos os padrões de potabilidade são atendidos, identificando desvios e corrigindo-os prontamente. Essa prática é muito importante para garantir que o abastecimento de água atenda aos objetivos de segurança, protegendo a saúde dos consumidores e evitando contaminações. Além disso, o monitoramento de conformidades proporciona uma resposta rápida a eventuais falhas no sistema, assegurando que a água fornecida mantenha os padrões de qualidade (BRASIL, 2021; DI BERNARDO & DANTAS, 2005)

Figura 2 – Atividades para verificação de Planos de Segurança da Água



Fonte: Adaptado WHO (2012)

2.4 FERRAMENTAS DE MONITORAMENTO DE QUALIDADE DA ÁGUA

A gestão da qualidade da água em sistemas de abastecimento é um processo altamente complexo e multidimensional, que demanda a implementação de ferramentas avançadas de monitoramento e técnicas de gestão para garantir a segurança e potabilidade da água fornecida. Essas tecnologias e práticas são fundamentais para assegurar a conformidade com as normas de qualidade estabelecidas, protegendo a saúde pública e informando a população sobre a qualidade do recurso que ela consome, um direito assegurado pela Constituição Federal. O cumprimento das regulamentações é não apenas uma questão de responsabilidade social, mas também um requisito legal que busca manter os padrões de saúde e bem-estar da sociedade e dos usuários.

Esse ciclo de melhoria contínua permite a identificação e a correção de falhas no sistema, garantindo que as operações se mantenham dentro dos padrões estabelecidos. Adicionalmente, as auditorias internas e externas desempenham um papel vital na verificação da conformidade com as normas de qualidade. A revisão periódica dos PSA, por exemplo, também é crucial, englobando o monitoramento, as

auditorias e a revisão geral do plano para garantir que todos os aspectos relacionados à qualidade da água estejam em conformidade com as normas vigentes (COUTINHO, 2020).

A importância da gestão da qualidade se estende também à sustentabilidade dos recursos hídricos. A implementação de práticas de gestão eficientes contribui para a preservação dos corpos d'água e a minimização dos impactos ambientais, garantindo a disponibilidade de água potável para as gerações futuras. Além disso, a integração de tecnologias avançadas e a gestão eficiente são fundamentais para enfrentar os desafios operacionais e ambientais que afetam a qualidade e a continuidade do fornecimento de água potável (WHO, 2017).

A gestão eficaz de recursos hídricos depende fundamentalmente de dados confiáveis, uma vez que a precisão das informações disponíveis é a base que sustenta a tomada de decisões assertivas. Essa confiabilidade garante não apenas a continuidade operacional em SAAs, mas também a conformidade com os padrões regulatórios e a eficiência no uso dos recursos.

2.4.1. Vigiágua

O Vigiágua e o Siságua são ferramentas essenciais de monitoramento e gestão da qualidade da água no Brasil, criadas com o objetivo de assegurar a segurança e potabilidade da água consumida pela população. O Vigiágua foi instituído pelo Ministério da Saúde em 1999, visando garantir a qualidade da água e proteger a saúde pública. Este programa surgiu da necessidade de monitorar de forma mais efetiva os sistemas de abastecimento, prevenindo riscos à saúde e evitando a transmissão de doenças de veiculação hídrica. O principal objetivo do Vigiágua é controlar a qualidade da água oferecida pela rede pública, garantindo o cumprimento dos padrões de potabilidade estabelecidos pela legislação vigente, sendo sua vigilância realizada por órgãos municipais e estaduais de saúde, com o suporte técnico do governo federal. O Siságua, por sua vez, é o Sistema de Informação de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, criado para facilitar o registro e a consulta dos dados obtidos pelo Vigiágua. O Siságua, alimentado pelos gestores locais de saúde e pelos prestadores de serviços de abastecimento de água, é a plataforma que coleta, organiza e disponibiliza as informações sobre a qualidade da água em todo o país. Os dados inseridos no sistema são essenciais para a tomada de decisões por parte das autoridades responsáveis pelo abastecimento e para a

implementação de medidas corretivas e preventivas em casos de não conformidade. Além disso, o Ministério da Saúde controla e supervisiona o sistema, garantindo a transparência e a disseminação das informações ao público e aos gestores envolvidos (BRASIL, 2019).

2.4.2. Plano de Amostragem da Água

Uma ferramenta essencial para o controle do monitoramento da qualidade da água é a elaboração do Plano de Amostragem da Água, definido pela Portaria GM/MS nº 888/2021 como um “documento que inclui a definição dos pontos de coleta, número e frequência de coletas de amostras para análise da qualidade da água e de parâmetros a serem monitorados”. A mesma portaria estabelece que a vigilância seja realizada pelas Secretarias de Saúde dos Municípios. Nesse contexto, a vigilância sanitária desempenha um papel crucial ao promover a adesão às normas e regulamentos técnicos, assegurando que as diretrizes estabelecidas sejam seguidas rigorosamente. No caso das análises laboratoriais, a vigilância controla a qualidade da água para consumo humano por meio da normatização e fiscalização. Essas análises podem ser realizadas em laboratórios próprios, conveniados ou contratados, desde que comprovem boas práticas laboratoriais, biossegurança e um sistema de gestão da qualidade, atendendo às normas da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) e outras regulamentações aplicáveis, garantindo a confiabilidade e a segurança dos resultados obtidos (BRASIL, 2021).

O Plano de Monitoramento surge como objetivo principal avaliar continuamente a qualidade da água destinada ao consumo humano, identificando riscos e garantindo a conformidade com os padrões de potabilidade definidos pela legislação.

Por sua vez, o Plano de Amostragem tem como objetivo assegurar, de forma sistemática, esse monitoramento. Ele inclui parâmetros básicos a serem monitorados, como turbidez, cloro residual livre (ou outro composto residual ativo, caso o agente desinfetante utilizado não seja o cloro), coliformes totais/*Escherichia coli* e fluoreto, sendo a periodicidade do monitoramento variável conforme a população do município (BRASIL, 2016).

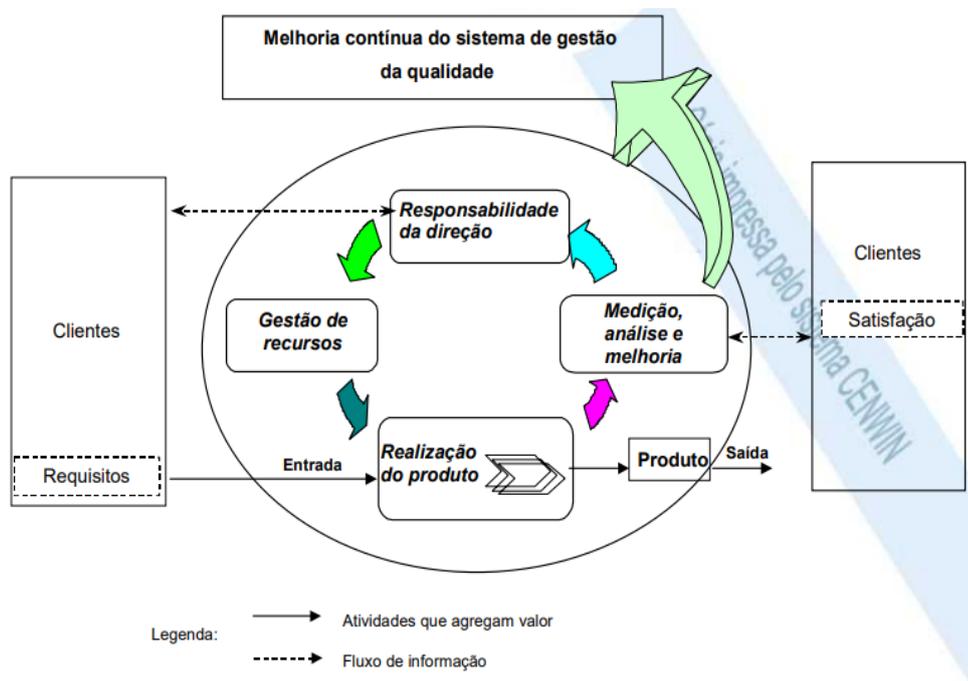
Além do plano de amostragem básico, também existe o plano de monitoramento de agrotóxicos, que permite considerar as especificidades locais e, assim, priorizar municípios com maior probabilidade de ocorrência de agrotóxicos na

água de consumo humano. Outros dois tipos de planos de monitoramento são o Monitoramento Específico, que se refere a parâmetros previstos no padrão de potabilidade (como substâncias químicas orgânicas e inorgânicas, (oo)cistos de protozoários, cianobactérias/cianotoxinas, organolépticos e produtos secundários da desinfecção) que representam risco à saúde da população. Parâmetros não citados no padrão de potabilidade também podem ser selecionados. Por último, o plano de monitoramento para eventos de saúde pública é realizado de forma emergencial (desastres ambientais, surtos ou epidemias, acidentes com produtos perigosos, entre outros) e pode incluir novos parâmetros ou agentes específicos, mesmo que não compoñham o padrão de potabilidade vigente, visando identificar sua presença na água (BRASIL, 2016).

2.4.3. Ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act)

Outro exemplo significativo é a utilização de ferramentas de gestão da qualidade, como o ciclo PDCA (Plan-Do-Check-Act), amplamente empregado em Sistemas de Abastecimento de Água (SAA) para otimizar os processos de tratamento e distribuição. Na primeira fase, "Planejar" (Plan), são identificados os riscos e definidas as metas e ações preventivas necessárias para assegurar a qualidade da água. A fase "Executar" (Do) corresponde à implementação das ações planejadas, incluindo controles operacionais e medidas mitigadoras. A etapa "Verificar" (Check) abrange o monitoramento contínuo e a avaliação dos resultados, comparando-os com os objetivos estabelecidos para identificar possíveis desvios ou não conformidades. Finalmente, na fase "Agir" (Act), são realizadas ações corretivas e ajustes no plano, garantindo que o PSA permaneça eficaz e em conformidade com as normas vigentes. Além do ciclo PDCA, prestadores de serviço utilizam requisitos do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ) conforme a ABNT NBR ISO 9001, assegurando que a organização gerencie seus processos de maneira a alcançar uma qualidade consistente e mensurável (SANTOS, 2014; ISO 9001, 2015), conforme demonstra a Figura 3 – Modelo de um sistema de gestão da qualidade baseado em processo.

Figura 3 – Modelo de um sistema de gestão da qualidade baseado em processo



Fonte: ABNT NBR ISO 9001

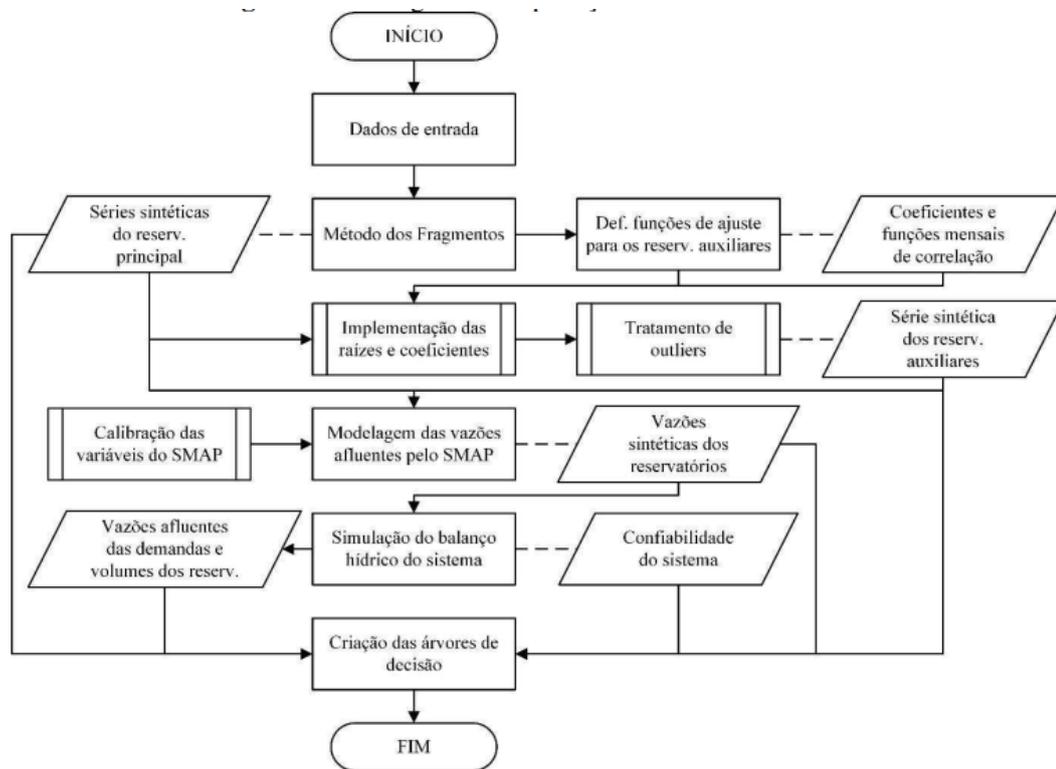
No ano de 2014, a CASAN implementou a metodologia do PDCA no bairro Barra da Lagoa, em Florianópolis, com o objetivo de otimizar a operação do sistema de abastecimento de água, focando na redução de perdas de água e na melhoria da eficiência energética. Essa iniciativa foi conduzida em conformidade com as diretrizes da ABNT NBR ISO 24510, que estabelece parâmetros para a avaliação e gestão dos serviços de água e esgoto. A aplicação dessa metodologia demonstrou resultados expressivos, revelando-se eficaz ao orientar a tomada de decisões para intervenções específicas. Esse processo também promoveu melhorias contínuas e mensuráveis nos sistemas de abastecimento de água, conforme destacado em estudos sobre gestão de qualidade (SANTOS, 2014).

2.4.4. Árvore de Decisão

A Árvore de Decisão é uma ferramenta de análise que auxilia na tomada de decisões, especialmente em sistemas complexos, como o abastecimento de água. Dias (2010) destaca que sua aplicação em sistemas públicos permite segmentar parâmetros da qualidade da água, identificando padrões e relacionando variáveis críticas, o que facilita a elaboração de fluxogramas dos processos de captação,

tratamento e distribuição. Essa integração garante uma análise estruturada e baseada em dados, promovendo uma gestão mais eficiente e alinhada às necessidades de monitoramento e melhoria contínua da qualidade da água. Santana (2022), em sua tese, reforça a eficácia das árvores de decisão para avaliar cenários hidrológicos e operacionais, mostrando que, por meio de dados sintéticos e simulações de balanço hídrico, é possível identificar padrões críticos e formular estratégias operacionais de forma clara e eficiente, conforme ilustrado na Figura 4 – Fluxograma de aplicação do modelo *Risk Analysis Model by Stochastic Simulation* (RAMSS).

Figura 4 – Fluxograma de aplicação do modelo *Risk Analysis Model by Stochastic Simulation* (RAMSS)



Fonte: Cícero, 2022

2.4.5. Outras ferramentas

O Índice de Qualidade da Água (IQA) é um instrumento de avaliação criada inicialmente pela *National Sanitation Foundation (NSF)* em 1970, com o objetivo de facilitar a interpretação dos dados de qualidade da água. O IQA considera nove parâmetros principais que incluem variáveis físico-químicas e biológicas, como pH, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, entre outros. A Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB) passou a utilizá-lo em 1975 e, atualmente, é

amplamente adotado em diversos estados brasileiros, consolidando-se como o principal índice de avaliação da qualidade hídrica no país. O IQA é calculado de forma a considerar aspectos organolépticos, riscos sanitários e impactos ecológicos, sendo essencial no monitoramento da contaminação por esgotos e eutrofização dos mananciais (CETESB, 2019; ANA, 2021).

A gestão da qualidade nos SAA envolve o monitoramento contínuo de parâmetros de qualidade da água, como turbidez, pH, cloro residual, coliformes e metais pesados, entre outros. Técnicas avançadas, como a utilização de sensores de Internet das Coisas (IoT) e sistemas de suporte à decisão (DSS), têm sido cada vez mais incorporadas para melhorar a eficiência do monitoramento e da resposta a incidentes de qualidade da água. Esses sistemas permitem a detecção em tempo real de qualquer variação nos parâmetros de qualidade, possibilitando uma resposta rápida a possíveis contaminações e garantindo que a água fornecida permaneça dentro dos padrões de segurança (MACHADO, 2019).

3 METODOLOGIA

A metodologia do presente trabalho foi desenvolvida com base na análise de legislações e normativas brasileiras e de Santa Catarina que regulamentam o sistema de abastecimento de água, com especial atenção para os parâmetros de qualidade e seus respectivos limites estabelecidos pelas diretrizes do Ministério da Saúde, particularmente a Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021). A pesquisa envolveu a revisão detalhada de documentos legais para garantir a conformidade dos sistemas de abastecimento com as normas vigentes. Foram considerados aspectos como a periodicidade das análises, os parâmetros físico-químicos e microbiológicos avaliados. Dessa forma, a metodologia se alinha com as boas práticas de gestão de qualidade da água, para garantir que os dados analisados estejam em conformidade com as exigências regulamentares nacionais e estaduais

Essas normativas fornecem a base para identificar ferramentas de monitoramento da qualidade da água do SAA, orientando os processos de coleta, tratamento, e distribuição dentro dos padrões de potabilidade exigidos, assegurando, assim, a saúde pública, a integridade dos recursos hídricos e uma boa gestão do sistema.

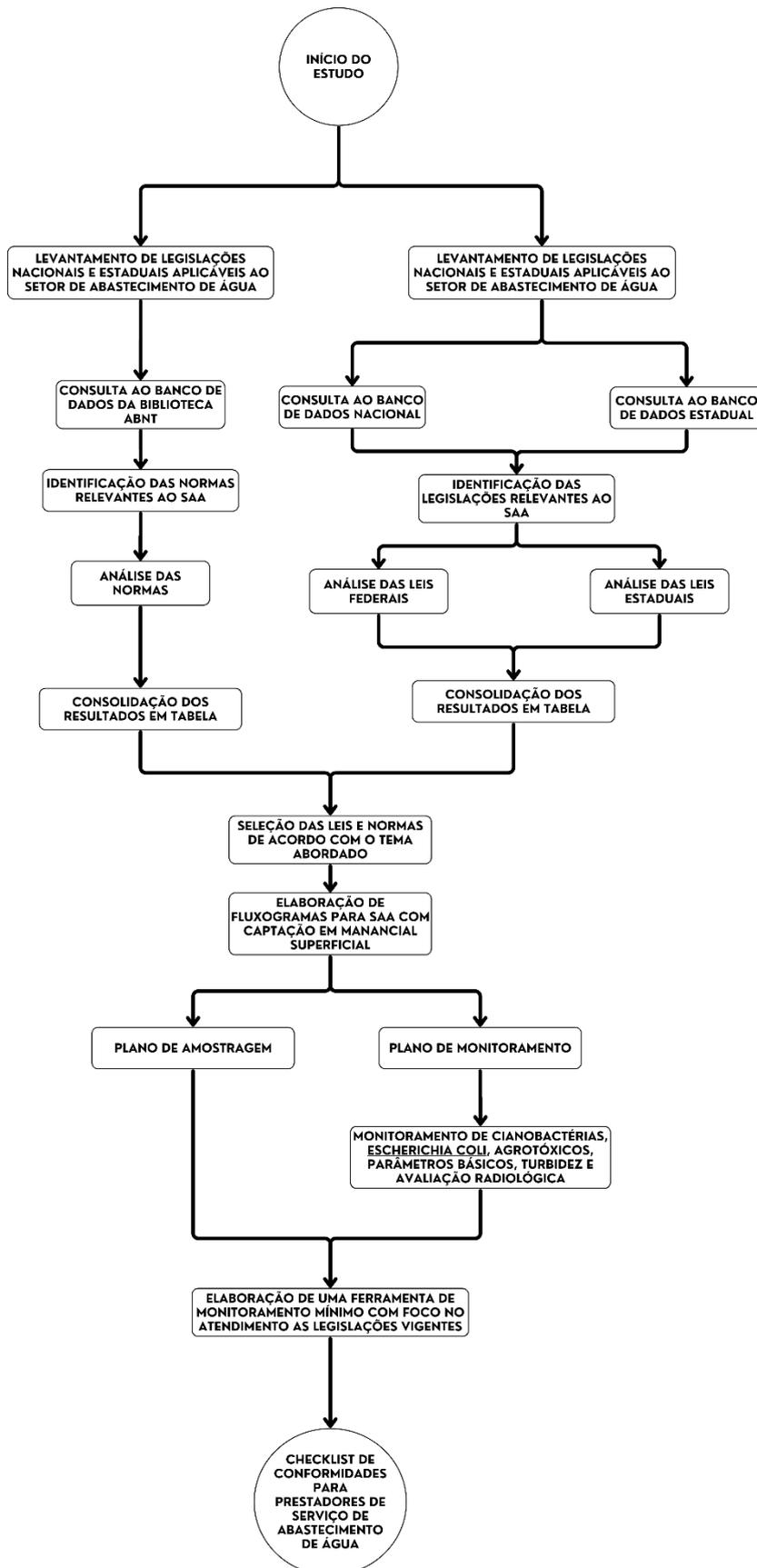
A partir do levantamento das legislações aplicáveis ao setor de abastecimento de água, foi feita uma análise detalhada e em seguida um desdobramento das normas

e requisitos legais. O objetivo desse desmembramento foi desenvolver uma ferramenta de gestão das informações legislativas, visando facilitar a aplicação pelos gestores de contratos e responsáveis do SAA. Esta ferramenta foi desenvolvida para proporcionar uma visão integrada dos requisitos normativos, viabilizando não apenas a conformidade com a legislação vigente, mas também um controle eficiente da qualidade da água, além de assegurar uma comunicação clara e objetiva com os usuários e uma gestão interna eficaz entre gestores, operadores e profissionais de laboratório.

A Figura 5 – Fluxograma Geral do Trabalho, apresenta o fluxograma geral do estudo, detalhando as etapas metodológicas desde o levantamento de legislações nacionais e estaduais aplicáveis ao abastecimento de água até a elaboração de uma ferramenta de monitoramento da qualidade da água. O estudo teve como foco os sistemas que usam mananciais de captação superficial, devido às suas características únicas e à maior vulnerabilidade a interferências externas em comparação aos mananciais subterrâneos

Após a identificação e análise das normas relevantes, as informações foram selecionadas e organizadas em fluxogramas, que serviram como base para o desenvolvimento do Plano de Amostragem e do Plano de Monitoramento Mínimo para a verificação da conformidade, cobrindo parâmetros como *Escherichia coli*, cianobactérias, agrotóxicos, turbidez e avaliação radiológica. Os resultados são ferramentas de monitoramento como os fluxogramas e *checklists*.

Figura 5 – Fluxograma Geral do Trabalho.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.1. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DAS LEGISLAÇÕES NACIONAIS E ESTADUAIS APLICÁVEIS AO SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para o levantamento das legislações, utilizou-se como base de dados a legislação brasileira disponível no link <https://legislacao.presidencia.gov.br/> e a legislação estadual acessível em <https://www.alesc.sc.gov.br/legislacao> e também o site da ARESA, disponível no link <https://www.aresc.sc.gov.br/index.php/documentos/legislacao/legislacao-agua>. Esses sites foram escolhidos por serem fontes oficiais e confiáveis que disponibilizam a legislação atualizada e vigente, garantindo a qualidade e precisão dos dados obtidos.

Inicialmente, foram realizadas pesquisas no Google Acadêmico utilizando as palavras-chave "legislação sobre abastecimento de água", "normas de potabilidade de água" e "leis, decretos e portarias nacionais sobre abastecimento de água". Essas palavras-chave foram escolhidas com o objetivo de filtrar e identificar de maneira eficiente as legislações pertinentes ao tema de abastecimento de água e qualidade da água, considerando a vasta quantidade de leis, decretos e portarias existentes que se relacionam com o assunto. A escolha dessas palavras permitiu direcionar a pesquisa para encontrar de forma mais precisa as normativas relevantes ao escopo do presente trabalho, evitando dispersão e assegurando um levantamento de informações mais objetivo e focado. Foram selecionados os artigos mais relevantes, dos quais foram extraídas as legislações pertinentes ao presente trabalho. Posteriormente, a situação dessas legislações foi verificada nos sites da Presidência da República e da Assembleia Legislativa de Santa Catarina, a fim de analisar se estavam totalmente revogadas, parcialmente revogadas ou ainda em vigor.

O site da Presidência da República oferece um mecanismo de busca avançada, que possibilitou a pesquisa por palavras-chave, datas de publicação, tipos de normas e temas específicos, facilitando a verificação das leis e decretos ainda vigentes. Já o site da Assembleia Legislativa de Santa Catarina possui uma ferramenta de busca que possibilita o acesso a legislações estaduais por palavras-chave, número da lei ou decreto, e por ano de publicação. O site da ARESA, por sua vez, disponibiliza uma seção específica para legislações sobre abastecimento de água, onde foram encontradas algumas das legislações utilizadas no presente trabalho.

Os mecanismos de pesquisa permitiram filtrar apenas as legislações relevantes para o setor de abastecimento de água, com foco especial nas normas que apresentassem diretrizes e requisitos específicos aplicáveis ao SAA.

3.2. LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE NORMAS BRASILEIRAS ABNT PARA APLICAÇÃO EM SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Para garantir um maior detalhamento das informações relevantes para o estudo, foram também levantadas Normas Brasileiras ABNT e ISO, as quais desempenham um papel fundamental como ferramentas estruturantes para apoiar a implementação das legislações vigentes. Essas normas atuam como diretrizes técnicas, estabelecendo procedimentos operacionais necessários para assegurar a conformidade com os requisitos legais, garantindo a padronização e qualidade dos processos envolvidos (ABNT, 2024)

O levantamento das normas foi realizado através de uma pesquisa sistemática na internet, complementada pela leitura das NBR da ABNT. A escolha dessa metodologia foi motivada pela necessidade de identificar e selecionar normativas diretamente relacionadas aos serviços de abastecimento de água, que são abrangidos por uma vasta quantidade de normas técnicas. O principal objetivo foi identificar e selecionar as normas aplicáveis aos serviços realizados nos SAA abrangendo todas as etapas do ciclo de abastecimento: captação, tratamento, reservação, distribuição, além das práticas de gestão e comunicação.

As buscas pelas normas técnicas iniciaram-se pela seleção de artigos que tratavam de normas específicas para o sistema de abastecimento de água. Foi utilizado o Google Acadêmico com a aplicação das palavras-chave "normas técnicas para sistema de abastecimento de água", visando identificar as NBR mais relevantes ao tema e que tivessem relação direta com os processos envolvidos no Sistema de Abastecimento de Água. Posteriormente, para acessar o conteúdo e verificar se essas normas estavam em vigor, recorreu-se ao acervo disponibilizado pela UFSC, a "Coleção de Normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas", seguindo as instruções descritas no material "Procedimentos para Acesso à Coleção de Normas da ABNT". Para facilitar o entendimento, o processo foi ilustrado de maneira clara e objetiva por meio da Figura 6 – Infográfico de acesso a Coleção de Normas da ABNT disponibilizado pela UFSC, que apresenta um passo a passo detalhado da metodologia adotada.

Figura 6 – Infográfico de acesso a Coleção de Normas da ABNT disponibilizado pela UFSC

The image shows a screenshot of the UFSC BU Bases de Dados website. The main content area displays a list of databases. A red arrow points to the entry for 'COLEÇÃO NORMAS DA ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS'. Below this entry, a table provides access instructions:

ASSUNTO	Multidisciplinar
TIPO DE DOCUMENTO	Normas técnicas
ASSINATURA	UFSC
FORNECEDOR	ABNT
ACESSO	Reconhecimento de IP. Para acesso remoto é necessário VPN. - SENHAS NECESSÁRIAS: SUA EMPRESA: UFSC SEU NOME DE USUÁRIO: UFSC-JAVA SUA SENHA: UFSC-JAVA

Below the table, there is a search interface for the ABNT Collection. The search bar contains the text 'normas' and 'publicações'. The search filters are set to 'Pesquisar em: ABNT' and 'Pesquisar por: Acervo Completo'. The search results show a list of norms with columns for 'Número', 'Palavra', 'Comitê', 'ICS/CIN', 'Publicação', and 'Status'. The 'Status' filter is set to 'Em Vigor'.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Cabe ressaltar que, dentro da Coleção ABNT, foram selecionados os mecanismos de busca "Pesquisar em:", "Número", "Palavra" e "Status", que foram destacados com uma flecha em vermelho por serem os mais relevantes e por permitirem uma busca mais precisa.

As informações coletadas foram analisadas com foco na pertinência e aplicabilidade de cada norma no contexto dos serviços de abastecimento de água. Esse processamento permitiu a filtragem das normas mais relevantes para o escopo do estudo. Posteriormente, os dados resultantes foram organizados em tabelas, facilitando a visualização estruturada e a consulta rápida dos resultados obtidos.

3.3. ANÁLISE, FILTRAGEM E CONSOLIDAÇÃO DAS LEGISLAÇÕES APLICÁVEIS AO SETOR DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA

Após o levantamento inicial, foi realizado um processo de análise e filtragem para selecionar apenas as legislações vigentes e aquelas com relevância prática para o setor de abastecimento de água. Essa análise incluiu a verificação dos desdobramentos, ou seja, atualizações e complementações de cada legislação.

Os dados levantados foram então organizados em uma tabela resumida, permitindo uma visualização clara dos principais pontos abordados por cada legislação, incluindo o objetivo, os pontos importantes e a esfera de atuação (nacional ou estadual). Essa consolidação possibilitou identificar as diretrizes e obrigações impostas às empresas e prestadores de serviço do setor de saneamento, facilitando a identificação dos requisitos legais a serem atendidos para garantir a conformidade com as normas vigentes.

3.4. SISTEMATIZAÇÃO E ORGANIZAÇÃO DAS INFORMAÇÕES NORMATIVAS PARA APLICAÇÃO PRÁTICA

3.4.1. Fluxogramas e Árvores de Decisões

Após o levantamento e a filtragem das informações relevantes presentes nas normas nacionais e estaduais, iniciou-se a elaboração de fluxogramas para sistematizar e visualizar os processos e requisitos identificados. Esse trabalho focou especialmente na extração e organização de informações implícitas na Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), que é a principal norma reguladora para

sistemas de abastecimento de água no Brasil. Os fluxogramas foram utilizados como uma ferramenta visual para facilitar a interpretação e aplicação prática dos requisitos, fornecendo aos gestores e operadores um apoio para a implementação eficiente das diretrizes regulamentares.

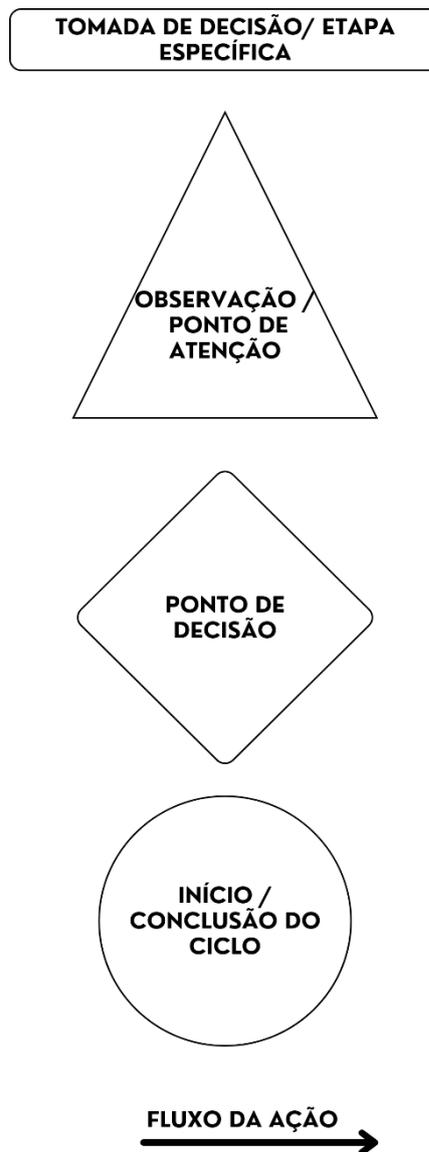
A escolha por fluxogramas está relacionada à sua capacidade de representar visualmente e de forma intuitiva cada decisão e ação a ser tomada, desde a captação até a distribuição da água. Eles facilitam a compreensão dos fluxos operacionais e das interações entre as diversas etapas de controle e tratamento, sendo essenciais para lidar com a complexidade dos sistemas de abastecimento. Os fluxogramas ajudam a identificar pontos críticos, definir responsabilidades e garantir que cada fase do processo esteja em conformidade com os padrões regulamentares.

Além disso, os fluxogramas foram integrados ao ciclo PDCA (Planejar, Executar, Verificar e Agir), um método de melhoria contínua aplicado à gestão dos processos de tratamento e monitoramento da água. Durante a fase de "Planejamento" (Plan), os fluxogramas foram elaborados para definir as etapas de amostragem, análise e controle. Na fase de "Execução" (Do), os operadores são guiados pelos fluxogramas para seguir o plano estabelecido. Já na fase de "Verificação" (Check), as medições e os resultados são comparados com as normas regulamentares, verificando a conformidade. Na fase de "Ação" (Act), o fluxograma indica ações corretivas em caso de não conformidade, facilitando uma resposta rápida para garantir a qualidade da água.

Outro instrumento que orientou a elaboração dos fluxogramas foi o PSA, cujo objetivo é a prevenção de riscos desde a captação até a distribuição. Os fluxogramas elaborados foram ferramentas para mapear esses riscos e definir ações de verificação e monitoramento da qualidade da água.

A Figura 7 – Legenda dos Elementos dos Fluxogramas, apresenta a legenda dos elementos utilizados na construção dos fluxogramas desenvolvidos neste trabalho, classificados da seguinte forma: losangos representam "pontos de decisão"; triângulos destacam "observações relevantes ou ponto de atenção referente a alguma tomada de decisão ou ponto de decisão"; retângulos indicam "ações executadas" ou "etapas específicas"; círculos indicam o "encerramento do ciclo"; e setas conectam os diferentes elementos, ilustrando o fluxo do processo de monitoramento e a sequência lógica para a tomada de decisão.

Figura 7 – Legenda dos Elementos dos Fluxogramas



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

3.4.2. Checklist

Para complementar os fluxogramas desenvolvidos durante o estudo, foram elaborados *checklists* correspondentes, atuando como ferramentas operacionais destinadas a auxiliar os responsáveis pelo monitoramento da qualidade da água a seguir cada etapa do processo de forma organizada e eficiente. Cada fluxograma gerado teve um *checklist* correspondente, visando garantir a completa sistematização das ações planejadas.

Durante a elaboração dos *checklists*, considerou-se os principais pontos que nortearam as decisões e as ações tomadas nos fluxogramas. Foi realizado um

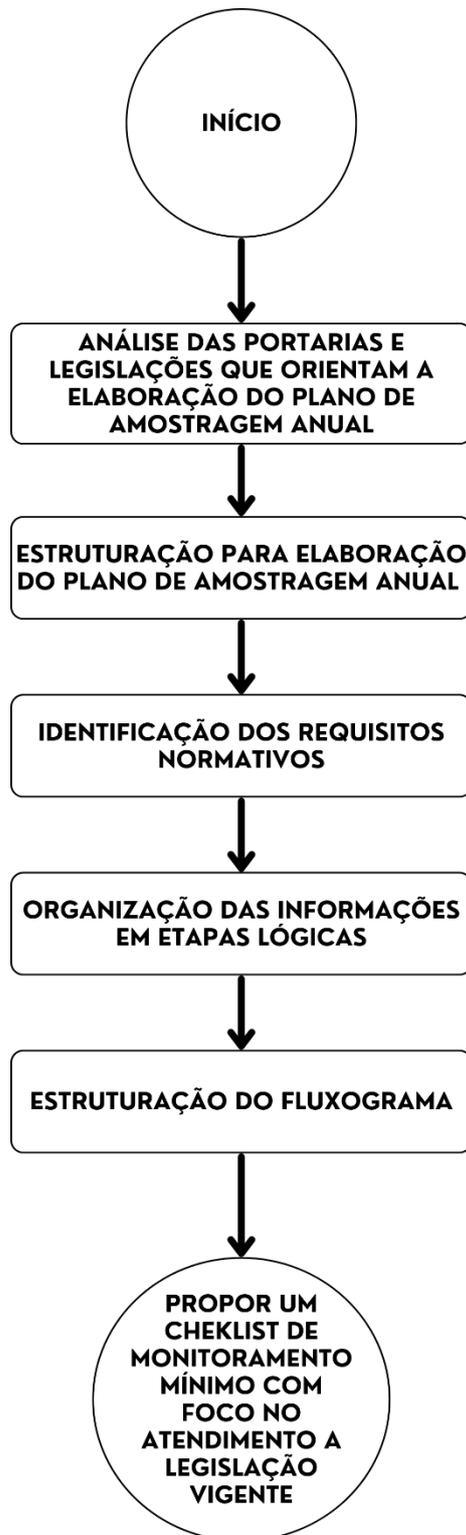
desdobramento de cada uma dessas ações em etapas mais detalhadas, resultando em um passo a passo que considera as especificidades e particularidades de cada parâmetro monitorado, conforme as portarias e resoluções analisadas.

Além disso, buscou-se incorporar os passos sugeridos pelo PSA de forma a promover uma verificação das conformidades mais abrangente, levando em consideração o sistema como um todo, incorporando elementos como a identificação de pontos críticos de controle, a verificação sistemática de conformidades e a implementação de medidas corretivas e preventivas, conforme recomendações da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2017).

3.4.3. Estruturação para Elaboração do Plano de Amostragem Anual

A construção do fluxograma referente ao plano de amostragem anual foi baseada em uma abordagem metodológica que visou detalhar e estruturar de forma visual os processos exigidos, conforme a Figura 8 – Fluxograma da Metodologia da Estruturação do Plano de Amostragem.

Figura 8 – Fluxograma da Metodologia da Estruturação do Plano de Amostragem



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Para isso, foram seguidos os seguintes passos:

- **Identificação dos Requisitos Normativos:** Inicialmente, foi realizada uma busca nas legislações brasileiras com o objetivo de identificar diretrizes que pudessem orientar a elaboração do Plano de Amostragem, servindo como base para o desenvolvimento do plano de monitoramento.
- **Organização das Informações em Etapas Lógicas e Elaboração do Fluxograma:** Após a identificação da legislação e dos requisitos normativos nela estabelecidos, os processos foram organizados em etapas lógicas e sequenciais, sendo posteriormente estruturados em forma de fluxograma para facilitar a visualização e a aplicação prática.
- **Elaboração do *checklist*:** Por fim, foi elaborado o checklist com base no fluxograma desenvolvido, com o objetivo de criar uma ferramenta objetiva para aplicação operacional, além de servir como um instrumento documental essencial para registrar as etapas do processo e tornar possível a rastreabilidade das ações realizadas e ações a serem tomadas.

3.4.4. Estruturação para Elaboração do Plano de Monitoramento dos Parâmetros Selecionados

A elaboração dos fluxogramas e *checklists* dos parâmetros seguiu a estrutura apresentada na Figura 9 – Fluxograma da Estrutura para a Elaboração do Plano de Monitoramento dos Parâmetros Selecionados, desenvolvida com base em etapas sistematizadas.

Figura 9 – Fluxograma da Estrutura para a Elaboração do Plano de Monitoramento dos Parâmetros Seleccionados



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Levou-se em consideração as seguintes etapas para a sua elaboração:

- **Parâmetro analisado:** Nesta primeira etapa, foi identificado o parâmetro, ou grupo de parâmetros, a ser monitorado
- **Análise das Portarias e Resoluções Relativas ao Parâmetro Selecionado:** Após a escolha do parâmetro, foi realizada uma análise dos artigos e anexos das Legislações, Resoluções e Portarias Nacionais relacionadas, verificando quais os requisitos legais aplicáveis a cada tipo de parâmetro.
- **Verificação da Existência ou Não de Portaria Estadual com Requisitos Mais Restritivos:** Após análise das legislações nacionais, buscou-se nas Portarias Estaduais a existência ou não de requisitos mais restritivos para determinado parâmetro monitorado.
- **Ponto de Início do Monitoramento:** Essa etapa consiste na determinação do ponto de partida do processo de monitoramento.
- **Estruturação Lógica das Ações e Elaboração do Fluxograma:** Esta etapa visou nortear a criação dos fluxogramas com base nas fases de "Execução" (Do) e "Verificação" (Check) do ciclo PDCA. Durante a "Execução", foram definidos os procedimentos para aplicar o plano de monitoramento conforme os requisitos dos parâmetros avaliados. Já na fase "Verificação", foram estabelecidos pontos de controle para garantir que os resultados fossem comparados aos padrões regulamentares, permitindo identificar inconformidades e direcionar ações corretivas.
- **Elaboração do *checklist*:** A última etapa consiste na criação do *checklist*, assegurando que todas as etapas do monitoramento sejam seguidas de forma organizada.

4 RESULTADOS

4.1. RESUMO DAS LEGISLAÇÕES

As legislações levantadas foram organizadas de forma cronológica, conforme descrito na Tabela 1 – Resumo das Legislações Vigentes. Ao todo foram 14 legislações coletadas, entre elas 04 Leis, 05 decretos, 01 resolução e 03 portarias, sendo dessa somatória 09 nacionais e 05 estaduais.

Tabela 1 – Resumo das Legislações Vigentes

ANO	LEGISLAÇÃO	ESFERA	TEMA PRINCIPAL
1974	Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974	Nacional	Dispõe sobre a fluoretação da água em SAA quando existir estação de tratamento.
1975	Decreto nº 76.872 de 22 de dezembro de 1975	Nacional	Regulamenta a Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974, que dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas públicos e abastecimento.
1977	Decreto nº 79.367, de 09 de março de 1977	Nacional	Dispõe sobre normas e o padrão de potabilidade de água e dá outras providências.
2005	Resolução CONAMA 357	Nacional	Define a classificação dos corpos d'água, diretrizes de enquadramento e padrões de qualidade, além de limites para o lançamento de efluentes em águas brasileiras.
2005	Decreto nº 5.440, de 04 de maio de 2005	Nacional	Define procedimentos de controle da qualidade da água em SAA e cria mecanismos para divulgação de informações sobre a qualidade da água para consumo humano.
2005	Lei nº 13.517, de 04 de outubro de 2005	Estadual	Dispõe sobre as Políticas Estadual de Saneamento e estabelece outras providências.
2007	Lei Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007	Nacional	Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico.
2010	Decreto Nº 7.217, de 21 de junho de 2010	Nacional	Regulamenta a Lei Nº 11.445, de 05 de janeiro de 2007.
2015	Lei Nº 16.673, de 11 de agosto de 2015	Estadual	Regula a fusão da AGESC com a AGESAN, criando a Agência de Regulação de Serviços Públicos de Santa Catarina (ARESC) e estabelece outras providências.
2016	Portaria Nº 421, de 13 de junho de 2016	Estadual	Dispõe sobre o teor ótimo de flúor na água destinada ao consumo humano.
2017	Portaria da Consolidação Nº 5, de 28 de setembro de 2017	Nacional	Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde no Sistema Único de Saúde (SUS).
2018	Decreto Nº 1.846, de 20 de dezembro de 2018	Estadual	Regulamenta o serviço de abastecimento de água para consumo humano no estado de SC.
2020	Lei Nº 14.026, de 15 de julho de 2020	Nacional	Atualiza o Marco Legal do Saneamento.
2021	Portaria GM/MS Nº 888, de 04 de maio de 2021	Nacional	Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para o consumo humano e seu padrão de potabilidade.
2022	Portai SES Nº 1.468, de 21 de dezembro de 2022	Estadual	Estabelece parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade para substâncias químicas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A partir da análise realizada sobre as legislações vigentes e a elaboração da tabela resumo, foi possível identificar as normas e regulamentações mais relevantes para o contexto dos Sistemas de Abastecimento de Água. Dentre as diversas legislações levantadas, algumas se destacaram pela importância devido à sua aplicabilidade direta e impacto nas operações do abastecimento de água com foco na qualidade da água, sendo de grande influência para a realização deste trabalho, destacando-se:

- **Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005:** Esta norma foi considerada para a elaboração do trabalho, pois define procedimentos obrigatórios para o monitoramento e a divulgação de informações sobre a qualidade da água nos sistemas de abastecimento. Ela foi aplicada para apoiar a estruturação do plano de comunicação com a população, garantindo que os aspectos relacionados à transparência, direito à informação e divulgação em casos de não conformidade fossem respeitados (BRASIL, 2005)
- **Resolução CONAMA nº 357:** Ao estabelecer a classificação dos corpos d'água, ela foi utilizada no trabalho para fornecer os parâmetros a serem monitorados conforme a classe do manancial (CONAMA, 2005).
- **Portaria Estadual nº 421, de 13 de maio de 2016:** A Portaria nº 421 dispõe sobre o teor de flúor ideal na água destinada ao consumo humano. Seu estudo foi importante para compreender os parâmetros de segurança e a padronização do teor de flúor como medida de saúde pública, garantindo a eficácia na prevenção de cáries e atendendo a especificações de qualidade (SANTA CATARINA, 2016).
- **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021:** Esta portaria é a base normativa mais abrangente para o monitoramento e controle da qualidade da água para consumo humano. Ela define os padrões de potabilidade e os requisitos de monitoramento para garantir que a água fornecida seja segura e atenda aos critérios sanitários estabelecidos. A Portaria GM/MS nº 888 foi especialmente relevante neste estudo por ser o principal regulamento que orienta os parâmetros de qualidade, os procedimentos de controle e as ações a serem adotadas em casos de não conformidade (BRASIL, 2021)

- **Portaria Estadual SES nº 1468 de 21 de dezembro de 2022:** Esta portaria estadual estabelece parâmetros adicionais para o padrão de potabilidade da água, especialmente no que diz respeito à presença de agrotóxicos e outras substâncias químicas. Ao complementar a Portaria GM/MS nº 888, a Portaria SES nº 1468 é particularmente relevante no contexto de Santa Catarina, impondo critérios mais rigorosos devido às características agrícolas do estado, que intensificam o uso de agrotóxicos e, conseqüentemente, o risco de contaminação dos mananciais. Sua aplicação neste estudo foi importante uma vez que leva os gestores do sistema a realizarem um monitoramento mais abrangente e rigoroso (SANTA CATARINA, 2022).

4.2. RESUMO NORMAS TÉCNICAS

A seleção e a aplicação de normas técnicas desempenham um papel fundamental para garantir a conformidade com as regulamentações vigentes, o controle eficiente da qualidade da água e a segurança dos SAA. Neste sentido, foram selecionadas as normas da ABNT NBR 12216:1992, ABNT NBR ISO 24510, 24511 e 24512:2012, ABNT NBR 17080:2023 e ABNT NBR 10156:2023, cada qual com uma finalidade específica, sendo aplicada de forma a complementar a Portaria GM/MS nº 888/2021, legislações estaduais, bem como auxiliar na metodologia do ciclo PDCA que visa garantir um monitoramento da qualidade de água eficiente, aliada as ferramentas do PSA.

As normas escolhidas são apresentadas na Tabela 2 – Resumo das Normas Vigentes, acompanhadas de seus respectivos assuntos principais.

Tabela 2 – Resumo das Normas Vigentes

ANO	NORMA	ASSUNTO PRINCIPAL
1992	ABNT NBR 12216: 1992	Fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto de ETA destinada a produção de água potável para abastecimento público.
2012	ABNT NBR ISO 24510, 24511 e 24512: 2012	Fornecer diretrizes para a gestão dos prestadores de serviço de água e para a avaliação dos serviços de água potável. Sendo aplicadas aos prestadores de serviços de água de propriedade pública ou privada.
2023	ABNT NBR 17080: 2023	Estabelece requisitos para elaborar, implementar e avaliar planos de segurança da água, garantindo o fornecimento de água segura e potável, através da gestão de risco desde a fonte até o ponto de consumo, independentemente do porte ou tecnologia do tratamento.
2023	ABNT NBR 10156:2023	Estabelece os critérios para os procedimentos de limpeza e desinfecção de tubulações e reservatórios de SAA.

Fonte: Elaborado pelo autor sob consulta na Coleção ABNT (2024)

Para uma melhor compreensão, foi elaborado um resumo em tópicos a fim de explorar sua relevância e papel dentro da elaboração de uma ferramenta de monitoramento de qualidade da água.

- **ABNT NBR 12216:1992:** Essa norma foi selecionada por definir as condições exigíveis para a elaboração de projetos de estações de tratamento de água. Além disso, complementa as diretrizes da Portaria GM/MS nº 888/2021 ao especificar os requisitos que os sistemas de tratamento devem atender, assegurando a potabilidade da água. Por exemplo, a norma aborda a dosagem de cloro na ETA, recomendando uma aplicação de 5 mg/L, com um mínimo de 1 mg/L, enquanto a Portaria GM/MS nº 888/2021 exige a manutenção de, no mínimo, 0,2 mg/L de cloro residual livre e estabelece um VMP de 5 mg/L no sistema de distribuição de água. Entretanto, é importante destacar que o valor a ser considerado como referência normativa é o especificado na Portaria GM/MS nº 888/2021.
- **ABNT NBR ISO 24510, 24511 e 24512:2012:** Esse conjunto de normas é utilizado para fornecer diretrizes relativas à gestão dos prestadores de serviço de abastecimento de água e para a avaliação

dos serviços prestados, sendo aplicáveis tanto às entidades públicas quanto privadas e têm como objetivo a melhoria da qualidade dos serviços prestados à população. A importância dessas normas para o presente trabalho está na sua aplicação como suporte às fases de verificação e ação do ciclo PDCA (Check e Act), permitindo melhorar e promover um monitoramento da qualidade da água contínuo nos processos de tratamento, reservação e distribuição de água.

- **ABNT NBR 17080:2023:** Essa norma estabelece os requisitos para a elaboração, implementação e avaliação dos Planos de Segurança da Água, servindo como uma das principais bases normativas deste trabalho. É essencial para garantir que a água fornecida à população seja segura e potável, promovendo a gestão de riscos ao longo de todo o sistema, desde a captação até o consumo. A norma enfatiza o monitoramento de verificação, com o objetivo de assegurar que a concepção e a operação do sistema atendam aos critérios de saúde estabelecidos. Ela foi utilizada como referência para estruturar as diretrizes de elaboração dos fluxogramas, que descrevem os processos de monitoramento da qualidade da água em todas as etapas do sistema. Adicionalmente, orienta a aplicação do ciclo PDCA, garantindo a melhoria contínua dos processos, em conformidade com as exigências da Portaria GM/MS nº 888/2021. Sua aplicação proporciona uma abordagem integrada para a segurança da qualidade da água, abrangendo tanto o monitoramento quanto a resposta eficaz a eventuais não conformidades.
- **ABNT NBR 10156:2023:** Estabelece os critérios para os procedimentos de limpeza e desinfecção de tubulações e reservatórios nos sistemas de abastecimento de água. Incorporada ao estudo como uma ferramenta operacional, a norma assegura a manutenção dos padrões de qualidade ao longo de todo o ciclo de abastecimento, com ênfase nas etapas de distribuição e reservação. Sua aplicação está relacionada ao PSA, ao exigir a manutenção adequada dos sistemas físicos do SAA, minimizando os riscos de contaminação e proporcionando a segurança da água distribuída. Além disso, a norma complementa as exigências de qualidade da Portaria GM/MS nº

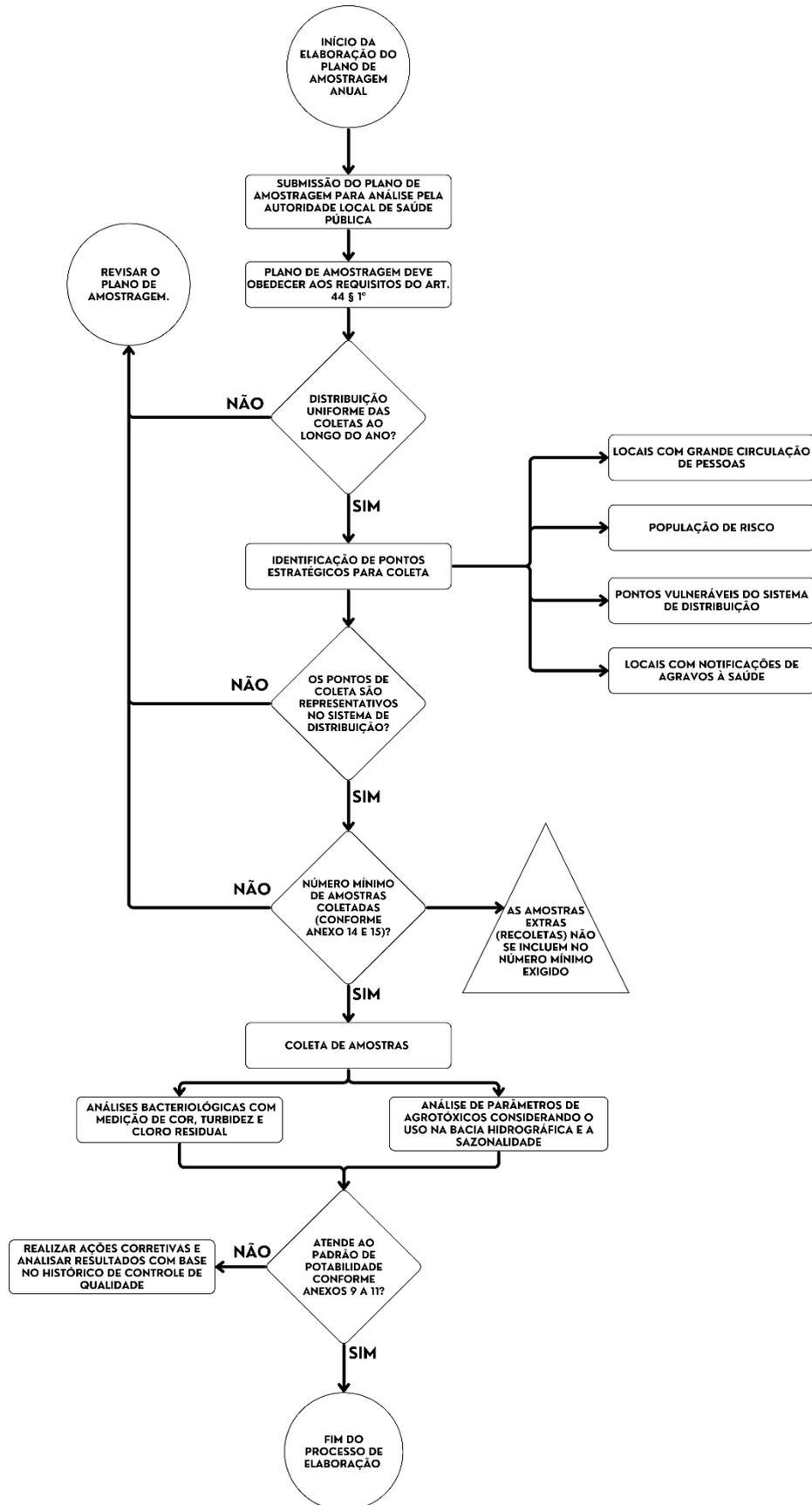
888/2021 ao fornece diretrizes para assegurar a integridade dos sistemas e o cumprimento dos parâmetros de potabilidade.

4.3. PLANO DE AMOSTRAGEM

A elaboração do fluxograma para o plano de amostragem, representado na Figura 8 – Fluxograma do Plano de Amostragem, constitui uma ferramenta que descreve de forma clara e sistemática os passos que os responsáveis por SAA e SAC devem seguir para garantir o monitoramento contínuo da qualidade da água. O fluxograma orienta desde a elaboração do plano até sua submissão às autoridades de saúde pública, assegurando o cumprimento das exigências regulatórias previstas na Portaria GM/MS nº 888/2021. Além disso, é uma ferramenta para o controle das ações realizadas pela Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano (Vigiagua), facilitando a fiscalização, ao organizar de forma visual e objetiva os passos necessários para o monitoramento, permitindo que os gestores identifiquem com mais agilidade eventuais falhas ou alterações no processo, a comunicação, facilitando o entendimento entre diferentes partes envolvidas, como operadores de SAA e SAC e autoridades de saúde pública e a conformidade, ao proporcionar uma referência prática e acessível, garantindo que todos os procedimentos sejam realizados de acordo com as exigências da Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL,2021).

O Art. 44 desta mesma Portaria, que define o plano de amostragem, foi representado no fluxograma apresentado. Cabe ressaltar que o Art. 45, que trata do monitoramento específico para populações residentes em áreas indígenas e povos e comunidades tradicionais, não foi incluído. No entanto, o parágrafo único do Art. 45 destaca que o plano para monitoramento da qualidade da água nessas áreas deve ser implementado conforme as diretrizes estabelecidas pelos Distritos Sanitários Especiais Indígenas (DSEI) e pela SESAI/MS.

Figura 8 – Fluxograma do Plano de Amostragem



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Foi possível realizar algumas observações tais como:

- **Periodicidade do Plano de Amostragem:** Destaca-se a necessidade de elaboração anual do plano de amostragem, visando garantir uma distribuição uniforme das coletas ao longo do ano. Essa periodicidade permite um monitoramento contínuo e eficaz, proporcionando uma caracterização abrangente das condições do sistema ao longo de diferentes períodos, assegurando a detecção de variações sazonais na qualidade da água.
- **Submissão a Autoridade de Saúde Pública:** Observa-se a obrigatoriedade de submissão para análise pela autoridade local de saúde pública, sendo um ponto interessante pois busca garantir a transparência e a conformidade regulatória, considerando a participação de um órgão regulador que pode aprovar ou solicitar alterações no plano.
- **Representatividade dos Pontos de Coleta:** Conforme destacado no Art. 44, § 1º, inciso II, são definidos critérios específicos para assegurar a representatividade dos pontos de coleta no sistema de distribuição (BRASIL, 2021). No fluxograma, esses critérios estão associados à “identificação de pontos estratégicos para coleta”, não sendo etapas sequenciais, mas fatores a serem considerados para o avanço às etapas subsequentes. Esses critérios incluem a abrangência espacial, variações temporais, mudanças no regime hidráulico do sistema de distribuição e a escolha de pontos estratégicos, como locais de grande circulação de pessoas, áreas com populações vulneráveis, pontos críticos da rede e regiões com histórico de notificações relacionadas à qualidade da água. Essa identificação estratégica visa garantir a representatividade dos dados coletados de maneira precisa quanto à qualidade da água em todo o sistema. Outro ponto a ser observado é o alinhamento desse tópico ao PSA, que exige a avaliação e identificação de potenciais riscos em toda a extensão do sistema de abastecimento.
- **Coleta de Amostras e Análises Específicas:** O artigo define a obrigatoriedade de realizar análises bacteriológicas, incluindo a medição de cor, turbidez e residual de desinfetante. Também prevê a

análise dos parâmetros de agrotóxicos, considerando a avaliação dos usos na bacia hidrográfica e a sazonalidade das culturas. Destaca-se a integração com as normativas estaduais, como a Portaria Estadual SES nº 1468 de 21/12/2022 (SANTA CATARINA, 2022).

- **Análise dos Resultados e Elaboração do Plano de Amostragem:** Por fim, o fluxograma finaliza em dois caminhos, caso os parâmetros não atenderem aos padrões de potabilidade (definidos nos Anexos 9 e 11 da Portaria GM/MS nº 888/2021), ações corretivas são iniciadas, por outro lado, caso atenderem aos padrões de potabilidade o plano de amostragem anual é encerrado e inicia-se a elaboração de um plano de monitoramento para o mesmo, sendo este importante para manter o controle da qualidade da água no sistema.

4.4. PLANO DE MONITORAMENTO E VERIFICAÇÃO DA CONFORMIDADE EM MANANCIAL DE CAPTAÇÃO SUPERFICIAL

A elaboração dos fluxogramas e *checklists* para o plano de monitoramento da qualidade da água foi fundamentada na Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), sendo um processo essencial para garantir a segurança e potabilidade da água distribuída à população. O plano foi desenvolvido a partir de uma análise minuciosa dos detalhes, anexos e complementações presentes na legislação nacional, além da utilização de normas estaduais mais rigorosas, como a Portaria nº 421 de 13/05/2016 (SANTA CATARINA, 2016), que trata do teor ideal de flúor, e a Portaria SES nº 1468 de 21/12/2022 (SANTA CATARINA, 2022), que estabelece parâmetros adicionais para agrotóxicos no padrão de potabilidade, abordando substâncias químicas específicas.

No contexto do Novo Marco do Saneamento, atualizado pela Lei Federal nº 14.026/2020 a elaboração de planos de monitoramento torna-se uma ferramenta estratégica para alcançar as metas de universalização definidas no Artigo 11-B, o qual estabelece a necessidade de garantir o atendimento de 99% da população com água potável até 31 de dezembro de 2033. Essa meta impõe a necessidade de monitoramento rigoroso e contínuo da qualidade da água, aliado a medidas corretivas eficientes para reduzir custos operacionais e aumentar a eficiência dos processos de tratamento (BRASIL, 2020).

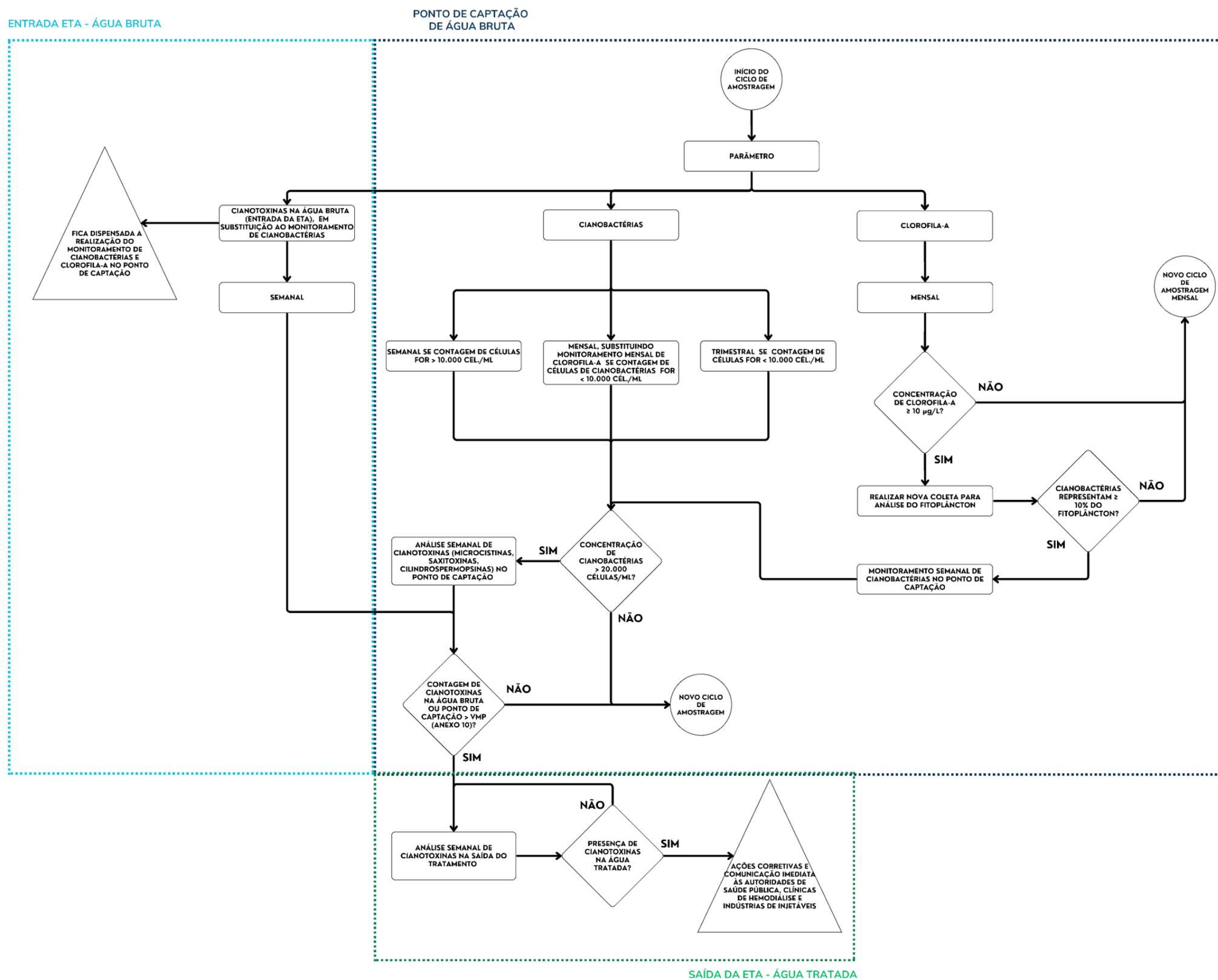
A utilização do manual do PSA, que abrange a identificação dos perigos, avaliação dos riscos, monitoramento das medidas de controle e a implementação de ações corretivas e preventivas (WHO, 2017), em alinhamento com a metodologia do ciclo PDCA, foi fundamental para a elaboração dos fluxogramas e *checklists*. Esse processo resultou na sistematização das etapas: Planejamento (Plan), com a definição das estratégias de monitoramento e parâmetros críticos; Execução (Do), envolvendo a implementação da coleta e análise das amostras; Verificação (Check), comparando os resultados com os padrões legais para identificar possíveis não conformidades; e Ação Corretiva (Act), para garantir a conformidade com as normas vigentes e a qualidade da água por meio da implementação das medidas corretivas necessárias.

A seguir, de forma estruturada em tópicos, serão apresentados os resultados obtidos a partir da elaboração dos fluxogramas e *checklist* referentes aos parâmetros de Cianobactérias, *Escherichia coli*, agrotóxicos, parâmetros radiológicos e parâmetros básicos da Resolução CONAMA 357, aplicáveis aos mananciais superficiais.

4.4.1. Monitoramento De Cianobactérias

O monitoramento de cianobactérias em manancial superficial foi representado no fluxograma da Figura 9 – Fluxograma de Monitoramento de Cianobactérias, que descreve de maneira detalhada os pontos de controle, abrangendo os caminhos obrigatórios e alternativos para análise de cianobactérias no sistema de abastecimento de água. A elaboração deste fluxograma utilizou minuciosamente os pontos estabelecidos no Art. 43 e nos Anexos 9, 10 e 12 da Portaria GM/MS nº 888/2021, garantindo o cumprimento das exigências regulatórias para o controle desse parâmetro. O acompanhamento inclui desde a captação da água bruta até o tratamento, observando-se que a legislação proporciona uma visão integrada das ações de monitoramento necessárias para minimizar os riscos à saúde pública e assegurar a segurança da água distribuída

Figura 9 – Fluxograma de Monitoramento de Cianobactérias



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Este monitoramento se inicia na captação da água bruta e se estende até o ponto de saída da água tratada, garantindo um acompanhamento contínuo. Ao analisar os pontos do fluxograma relacionado a esse parâmetro, verifica-se a necessidade de seu monitoramento no SAA, uma vez que a proliferação de cianobactérias em mananciais de abastecimento pode comprometer a qualidade da água tratada e causar problemas operacionais nas diversas etapas do tratamento (DI BERNARDO, 1995). Além disso, determinados gêneros de cianobactérias possuem espécies ou cepas potencialmente produtoras de toxinas (FUNASA, 2003), que, ao serem consumidas por seres humanos, podem causar intoxicações e resultar em problemas hepáticos (hepatotoxinas), neurológicos (neurotoxinas), dermatites (dermatotoxinas), reações citotóxicas (citotoxinas) e irritações por contato (endotoxinas) (CHORUS e BARTRAM, 1999).

- **Cianobactérias:** A análise de cianobactérias no ponto de captação é obrigatória, conforme o Art. 43 da Portaria GM/MS nº 888/2021, e deve ser realizada com periodicidade trimestral, mensal ou semanal, de acordo com os critérios regulamentares. Um ponto relevante é que a análise semanal de cianobactérias pode substituir a análise de Clorofila-a, desde que seja executada conforme a frequência exigida. Adicionalmente, o limite de 20.000 células/mL é um parâmetro crítico que determina ações de monitoramento adicional. Caso a contagem de células exceda esse valor, torna-se obrigatória a realização de análises semanais de cianotoxinas específicas no ponto de captação de água bruta, garantindo assim a segurança e a qualidade da água a ser tratada e distribuída, caso esteja abaixo desse valor o fluxograma indica que está em acordo com os padrões e segue para um novo ciclo de amostragem.
- **Clorofila-a:** A análise de Clorofila-a visa identificar o potencial aumento da contagem de cianobactérias, sendo por isso que seu monitoramento pode ser substituído pela análise semanal de cianobactérias, cabendo ao gestor do SAA tomar essa decisão. Caso seja optado pelo monitoramento de Clorofila-a, este deve ser realizado mensalmente no ponto de captação de água bruta, seguindo critérios específicos, como a verificação da concentração de Clorofila-a e a relação percentual

entre a contagem de cianobactérias e o fitoplâncton. Se essa relação for superior a 10%, o monitoramento semanal de cianobactérias no ponto de captação torna-se obrigatório. Caso essas tomadas de decisão indiquem valores dentro dos parâmetros estabelecidos pela norma, o ciclo de amostragem é encerrado e um novo ciclo é iniciado.

- **Cianotoxinas:** A análise de cianotoxinas deve ser realizada quando a concentração de cianobactérias exceder 20.000 células/mL. Devido ao seu potencial altamente nocivo aos usuários da água distribuída, este monitoramento ocorre no ponto de captação de água bruta ou na entrada da ETA, sendo uma alternativa ao monitoramento de cianobactérias, com periodicidade semanal. Caso o gestor do SAA opte por realizar esse monitoramento, fica dispensada a análise de cianobactérias e clorofila-a no ponto de captação, conforme disposto no parágrafo terceiro, inciso I, do Art. 43 da Portaria GM/MS nº 888/2021. Se a concentração de cianotoxinas no ponto de captação for inferior ao valor estabelecido no Anexo 10, o ciclo de amostragem se encerra e um novo ciclo é iniciado. No entanto, se os resultados estiverem em desacordo com os limites previstos, a análise de cianotoxinas deve ser realizada semanalmente também na saída do tratamento da água destinada à distribuição. Caso o tratamento não seja eficaz para a remoção das cianotoxinas, e sua presença ainda seja detectada, devem ser tomadas ações corretivas imediatas, além da comunicação obrigatória às autoridades de saúde pública e locais, incluindo populações mais vulneráveis, como clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis.

O *checklist* resultante do fluxograma, está representado pela Figura 10 – *Checklist* do Monitoramento de Cianobactérias. Este *checklist* é dividido em 10 etapas, apresentando uma maior complexidade devido à inclusão de três diferentes parâmetros a serem monitorados (cianobactérias, clorofila-a e cianotoxinas), cada um com fluxos específicos e requisitos particulares a serem atendidos. Cabe destacar a importância de assegurar o cumprimento das condições normativas em casos de substituição de um parâmetro por outro, garantindo que todas as exigências obrigatórias sejam atendidas.

Nos *checklists* elaborados, a coluna "Data de Verificação" tem como finalidade registrar a data em que determinada atividade foi realizada, garantindo o acompanhamento cronológico das ações e permitindo o rastreamento dos processos. A coluna "Responsável" é destinada a identificar o nome do responsável que executou a ação ou verificou o parâmetro, atribuindo a devida responsabilidade e assegurando que cada etapa tenha um responsável claramente definido. Já a coluna "Check" é utilizada para marcar que a atividade foi concluída, possibilitando o seguimento das próximas etapas do monitoramento.

Esse preenchimento detalhado de cada coluna é fundamental para a documentação das informações, promovendo a organização e a sistematização dos dados. Além disso, a documentação adequada serve como base para a análise histórica dos resultados e facilita a gestão dos dados. Outro ponto relevante é a melhoria na comunicação interna entre os envolvidos no processo e externa, com autoridades reguladoras e outros envolvidos, garantindo transparência e conformidade com as exigências normativas.

Figura 10 – Checklist do Monitoramento de Cianobactérias

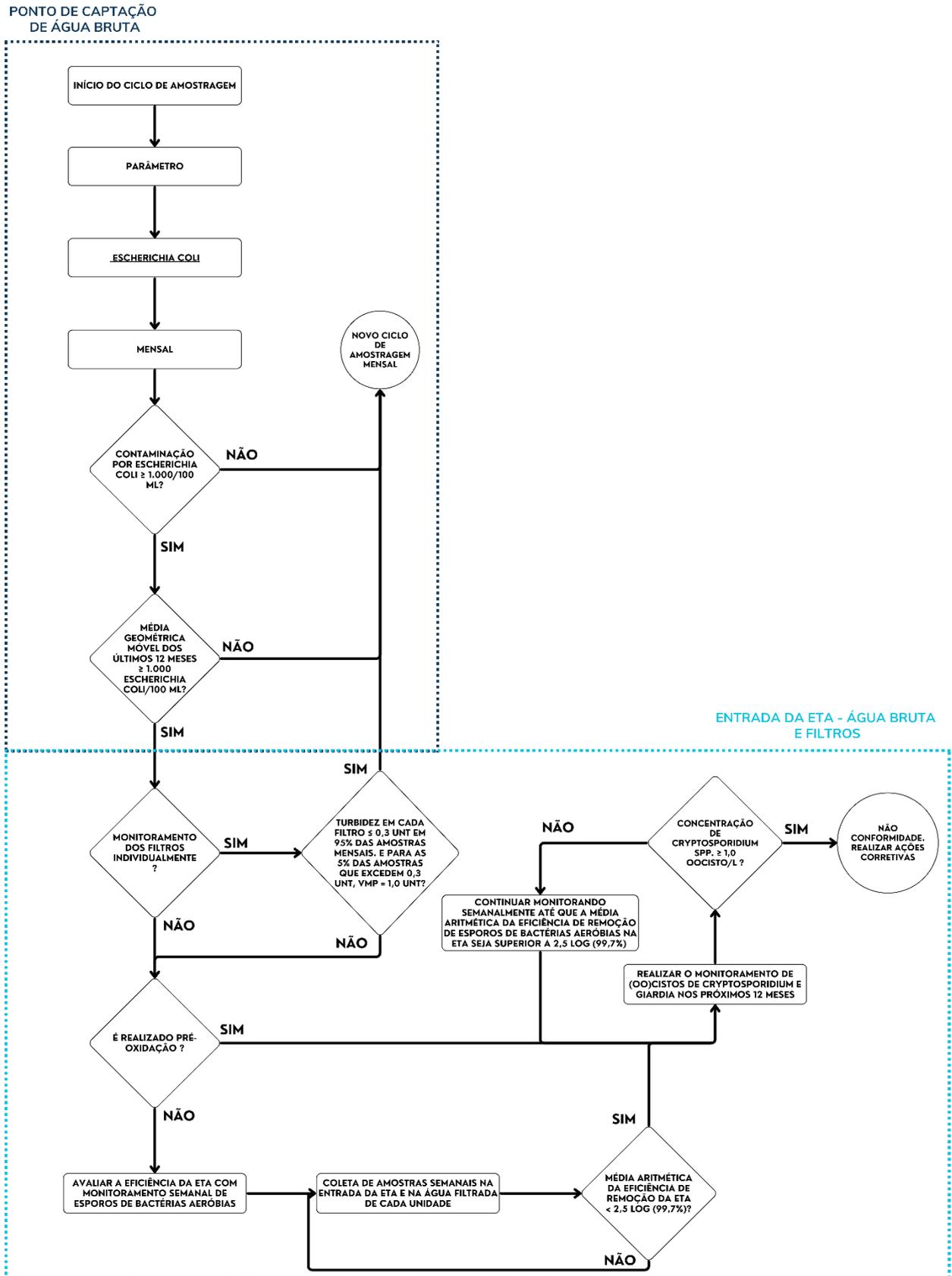
1 - Parâmetro a ser Analisado				
	Parâmetro	Ação a ser tomada	Data de Verificação	Responsável
Escolha do parâmetro a ser analisado	CIANOBACTÉRIAS	Seguir para passo 2 - Início do Ciclo de Amostragem e em seguida para o passo 3 - Definição da frequência de monitoramento para Cianobactérias		
	CLOROFILA-A	Seguir para o passo 2 - Início do Ciclo de Amostragem e em seguida para o passo 4 - Definição da frequência de monitoramento para Clorofila-a		
	CIANOTOXINAS	Seguir para o passo 2 - Início do Ciclo de Amostragem e em seguida para o passo 5 - Definição da frequência de monitoramento para Cianotoxinas		
2 - Início do Ciclo de Amostragem				
	Check			
Iniciar ciclo de amostragem				
Garantir que as amostras sejam coletadas e enviadas para análise				
3 - Definição da Frequência de Monitoramento para Cianobactérias				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Contagem de células de Cianobactérias	> 10.000 cel./ml	Monitoramento SEMANAL - Obrigatório. Seguir para o passo 8 - Concentração de Cianobactérias		
	< 10.000 cel./ml	Monitoramento MENSAL - Opcional. Substituindo Monitoramento de CLOROFILA-A. Seguir para o passo 8 - Concentração de Cianobactérias		
		Monitoramento TRIMESTRAL - Opcional. Seguir para passo 8 - Concentração de Cianobactérias		
4 - Definição da Frequência de Monitoramento para Clorofila-a				
	Período	Ação a ser tomada		
Frequência de monitoramento	Mensal	Seguir para o passo 6 - Cocentração de Clorofila-a		
5 - Definição da Frequência de Monitoramento para Cianotoxinas				
	Período	Ação a ser tomada		
Frequência de monitoramento	Semanal	Seguir para o passo 10 - Análise semanal de cianotoxinas		
6 - Cocentração de Clorofila-a				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Concentração de Clorofila-a acima de 10 µg/L?	SIM	Seguir para o passo 7 - Percentual de fitoplâncton		
	NÃO	Iniciar novo ciclo mensal.		
7 - Percentual de Fitoplâncton				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Cianobactérias representam 10% ou mais do fitoplâncton?	SIM	Seguir para o passo 3 - Definição da frequência de monitoramento para Cianobactérias		
	NÃO	Iniciar novo ciclo mensal.		
8 - Concentração de Cianobactérias				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Concentração de Cianobactérias superior a 20.000 cel./ml?	SIM	Seguir para o passo 9 - Análise semanal de cianotoxinas		
	NÃO	Iniciar novo ciclo mensal.		
9 - Análise Semanal de Cianotoxinas				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Contagem de Cianotoxinas superior a VMP do anexo 10?	SIM	Seguir para o passo 10 - Análise semanal de Cianotoxinas na Saída da ETA		
	NÃO	Iniciar novo ciclo de amostragem		
10 - Análise Semanal de Cianotoxinas na Saída da ETA				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Presença de Cianotoxinas na água	SIM	Ações corretivas e comunicação imediata a autoridades de saúde. Risco de infecção elevado.		
	NÃO	Retornar para ciclo semanal do passo 10 - Análise semanal de Cianotoxinas na Saída da ETA		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.4.2. Monitoramento De *Escherichia Coli*

Para o monitoramento de *Escherichia coli* na captação de água bruta em manancial superficial, foi elaborado o fluxograma representado na Figura 11 – Fluxograma do Monitoramento de *E.coli*, que seguiu as diretrizes estabelecidas nos artigos 29 e 56 da Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021). Observou-se que processo descrito no fluxograma se inicia com o monitoramento na captação de água bruta e segue até a entrada da ETA. A conformidade desse parâmetro, e, portanto, o seu monitoramento é essencial, pois a bactéria *E. coli* não apenas atua como indicador da contaminação microbiológica do manancial, como também representa um risco direto à saúde humana, que ao ser ingerida, pode causar infecções intestinais e, em casos mais graves, hemorragias e quadros clínicos severos (SANTOS, 2020).

Figura 11 – Fluxograma do Monitoramento de *E. coli*



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Alguns pontos foram relevantes para a construção dessa ferramenta, e, portanto, destacados, observando que:

- **Frequência de amostragem:** A frequência de amostragem é mensal, conforme estabelecido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que exige monitoramento constante de indicadores microbiológicos para garantir que a água não apresente risco à saúde pública.
- **Verificação de contaminação:** A primeira etapa de verificação se dá pela análise do nível de contaminação por *Escherichia coli*. Caso a concentração seja menor que 1.000 UFC/100 mL, o ciclo de amostragem se encerra e um novo ciclo é iniciado no próximo mês. Esse ponto de decisão é essencial para avaliar se a água captada possui risco de contaminação microbiológica que exige medidas de controle adicional. Se a concentração de *Escherichia coli* for superior a 1.000 UFC/100 mL, prossegue-se para a próxima etapa de análise, que considera a média geométrica móvel dos últimos 12 meses. Até esse ponto as análises são feitas no ponto de captação, caso a média geométrica móvel seja superior a 1.000 UFC/100 mL, torna-se necessário verificar as condições dos sistemas de tratamento, especialmente os filtros individuais. O PSA enfatiza a importância de manter um controle rigoroso sobre os processos de tratamento para mitigar riscos microbiológicos. A turbidez é utilizada como indicador de desempenho dos filtros. A Portaria GM/MS nº 888/2021 especifica que a turbidez deve ser de 0,3 UNT em 95% das amostras mensais, sendo um indicador da eficiência de remoção de partículas e microrganismos durante o processo de filtração. Caso esse limite não seja atendido, as medidas corretivas deverão ser implementadas para garantir a adequação do tratamento.
- **Monitoramento dos filtros:** A decisão de realizar o monitoramento dos filtros individualmente visa garantir uma visão detalhada da eficiência de cada unidade de filtração. Quando detectado um desempenho inadequado, torna-se necessário realizar monitoramento adicional, como a análise da eficiência de remoção de esporos de bactérias aeróbias, conforme indicado na portaria.

- **Realização de Pré-Oxidação:** Se houver a realização de pré-oxidação, o monitoramento deve ser estendido para a entrada da ETA e para a água filtrada de cada unidade devido ao impacto significativo que esse processo pode ter na qualidade da água e na eficiência das etapas subsequentes do tratamento. A pré-oxidação é amplamente empregada para a remoção de compostos orgânicos, metais e microrganismos, bem como para destruir algumas cianotoxinas. Contudo, a aplicação de oxidantes pode causar a lise celular, liberando toxinas no meio aquoso, o que pode comprometer a qualidade da água tratada (MONDARDO, 2004). Portanto, observou-se que monitorar a entrada da ETA assegura a avaliação do impacto inicial da pré-oxidação, enquanto o controle da água filtrada em cada unidade de filtro permite verificar se os subprodutos formados foram adequadamente removidos nas etapas subsequentes.
- **Monitoramento de oocistos *Cryptosporidium spp.* e cistos de *Giardia spp.*:** Caso os parâmetros estabelecidos sejam excedidos, a Portaria GM/MS nº 888/2021 exige a implementação de um programa de monitoramento contínuo por 12 meses, garantindo que não haja risco residual à saúde dos consumidores. Esses parasitas são preocupantes, pois resistem aos tratamentos convencionais, como a cloração (SINGH, 2014), e exigem um monitoramento detalhado para minimizar riscos à saúde pública. Por isso, o monitoramento da turbidez na saída dos filtros, garantindo que ela seja inferior a 0,3 UNT, é essencial, já que a turbidez funciona como um indicador indireto da presença de oocistos de *Cryptosporidium spp.* na água. Baixos valores de turbidez na água tratada indicam menor probabilidade de ocorrência desses protozoários, tornando-se uma medida preventiva e de controle operacional indispensável no tratamento de água. Assim, a monitoração contínua da turbidez é uma ferramenta crucial para avaliar a eficiência das etapas de clarificação e filtração, fundamentais para a remoção desses organismos (LOPES, 2008). O PSA destaca que o monitoramento deve ser realizado em cada ponto crítico do sistema de tratamento, garantindo que todos os riscos sejam identificados e tratados adequadamente.

- **Eficiência de Remoção de Esporos de Bactérias:** Se a eficiência de remoção dos esporos de bactérias aeróbias for inferior ao limite mínimo de 2,5 log (99,7%), é necessário continuar o monitoramento até que se atinja a eficiência estabelecida. No caso da presença de cianotoxinas na saída do tratamento da ETA, o fluxograma destaca a necessidade de implementar ações corretivas, incluindo a comunicação imediata às autoridades de saúde pública, conforme determina a Portaria GM/MS nº 888/2021.
- **Comunicação:** Observou-se a importância da comunicação, que deve ser direcionada às populações vulneráveis, como clínicas de hemodiálise e indústrias de injetáveis, que são mais suscetíveis aos efeitos adversos das toxinas presentes na água. Cabe ressaltar que essa comunicação está prevista no Art. 14 do Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005, destacando em seu parágrafo único que "o alerta à população atingida deve contemplar o período em que a água estará imprópria para consumo, bem como trazer informações sobre formas de aproveitamento condicional da água, logo que detectada a ocorrência do problema", ficando isso sob responsabilidade da empresa que administra o SAA ou SAC (BRASIL, 2005).

Para o complemento do fluxograma foi elaborado o *checklist* da Figura 12 – *Checklist* do Monitoramento de *E.coli*, com o objetivo de nortear com mais clareza as ações a serem tomadas durante o monitoramento do respectivo parâmetro. Com isso, observou-se que essa ferramenta funciona como um sistema escalonado, iniciando pelo parâmetro mais básico e avançando para análises mais complexas, quando necessário, otimizando os recursos de monitoramento e priorizando a identificação e controle de potenciais riscos à saúde. Isso auxilia os responsáveis de um SAA a tomar decisões informadas de forma mais ágil e eficiente, garantindo que etapas críticas não sejam negligenciadas.

Figura 12 – Checklist do Monitoramento de *E.coli*

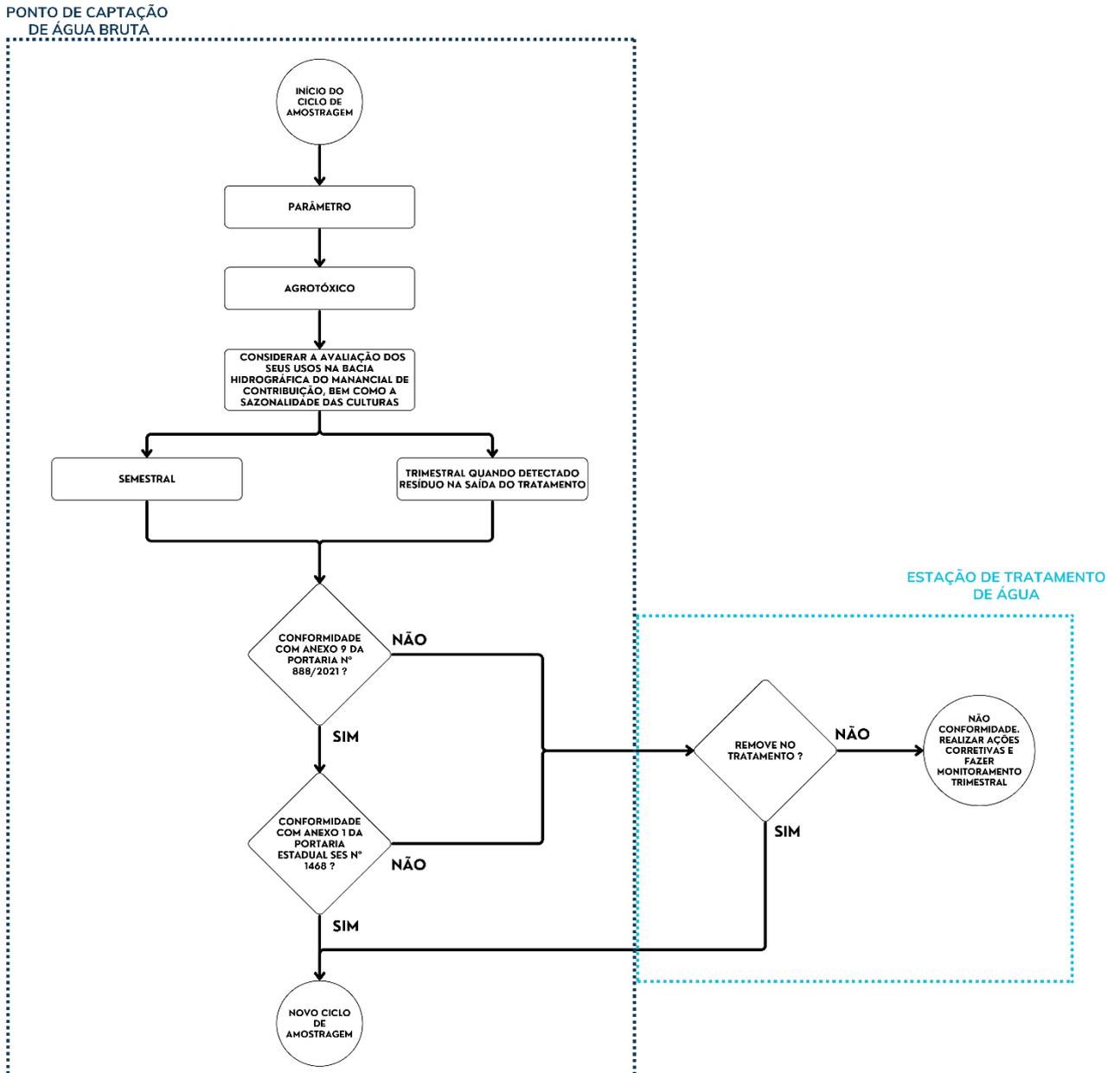
1 - Início do Ciclo de Amostragem				
	Check		Data de Verificação	Responsável
Iniciar ciclo mensal de amostragem no ponto de captação de água bruta.				
Garantir que as amostras sejam coletadas e enviadas para análise				
2 - Verificação de Contaminação por <i>Escherichia coli</i>				
	Verificação	Ação a ser tomada		
A contaminação por <i>E.coli</i> está acima de 1.000/100 mL?	SIM	Seguir para o passo 3 - Verificação da média geométrica.		
	NÃO	Encerrar o ciclo e iniciar uma nova amostragem no próximo mês.		
3 - Média Geométrica Móvel dos Últimos 12 Meses				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Verificar a média geométrica móvel dos últimos 12 meses	Média > 1.000 <i>E.coli</i> /100 mL	Seguir para o passo 4 - Monitoramento dos Filtros		
	Média ≤ 1.000 <i>E.coli</i> /100 mL	Iniciar novo ciclo mensal.		
4. Monitoramento dos Filtros				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Os filtros estão sendo monitorados individualmente?	SIM	Verificar turbidez em cada filtro e seguir para o passo 5 - Acompanhamento de Turbidez nos Filtros		
	NÃO	Avaliar a eficiência da ETA e realizar coleta semanal de esporos de bactérias aeróbias.		
5 - Acompanhamento de Turbidez nos Filtros				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Valor da turbidez nos Filtros	≤ 0,3 UNT em 95% das amostras mensais	Encerrar o ciclo e iniciar uma nova amostragem no próximo mês.		
	> 0,3 UNT em 95% das amostras mensais	Seguir para o passo 6 - Pré-Oxidação		
6 - Pré-Oxidação				
	Verificação	Ação a ser tomada		
A pré-oxidação está sendo realizada?	SIM	Seguir para o passo 7 - Monitoramento de <i>Cryptosporidium spp.</i> e <i>Giardia spp.</i> pelo período de 12 meses		
	NÃO	Seguir para o passo 8 - Monitoramento semanal de esporos de bactérias aeróbias		
7 - Monitoramento de <i>Cryptosporidium spp.</i> e <i>Giardia spp.</i>				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Verificar a concentração de <i>Cryptosporidium spp.</i>	Se > 1,0 oocisto/L	Não conformidade. Presença de toxinas. Realizar ações corretivas e comunicar às autoridades de saúde pública		
	Se < 1,0 oocisto/L	Seguir para o passo 8 - Monitoramento semanal de esporos de bactérias aeróbias		
8 - Monitoramento semanal de esporos de bactérias aeróbias				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Eficiência de Remoção dos Esporos de Bactérias Aeróbias	Se > 2,5 log (log (99,7%))	Continuar monitorando semanalmente até que o passo 3 - Média Geométrica Móvel dos Últimos 12 Meses, seja ≤ 1.000 <i>E.coli</i> /100 mL		
	Se < 2,5 log (log (99,7%))	Seguir para o passo 7 - Monitoramento de <i>Cryptosporidium spp.</i> e <i>Giardia spp.</i> pelo período de 12 meses		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.4.3. Monitoramento de agrotóxicos

A ferramenta de monitoramento de agrotóxicos foi desenvolvida com base principalmente no artigo 44 da Portaria GM/MS nº 888/2021. No entanto, devido à maior restritividade da Portaria SES nº 1468/2022, esta foi utilizada para complementar os critérios estabelecidos. O fluxograma apresentado na Figura 13 – Fluxograma do Monitoramento de Agrotóxicos, integra esses aspectos, abrangendo tanto as análises realizadas no ponto de captação de água bruta quanto as etapas na ETA.

Figura 13 – Fluxograma do Monitoramento de Agrotóxicos



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

A partir disso, foram observados os seguintes aspectos que se julgaram necessário serem destacados:

- **Ciclo de amostragem e frequência:** A amostragem para agrotóxicos é realizada semestralmente, conforme a Portaria GM/MS nº 888/2021, e é ampliada para coletas trimestrais em casos de detecção de resíduos na saída da ETA. Este ajuste na frequência de monitoramento está relacionado ao aumento do risco potencial de contaminação, justificando a intensificação do acompanhamento para avaliar se perseveram os contaminantes. Observa-se que a portaria estadual não estabelece diretrizes sobre a frequência de monitoramento, devendo-se, portanto, seguir as orientações da portaria nacional.
- **Gestão de riscos:** Essa análise levou em consideração fatores como os usos na bacia hidrográfica e a sazonalidade das culturas agrícolas, que são pontos críticos de origem de agrotóxicos. Ao comparar com a metodologia do manual de PSA, observa-se uma consonância entre ambas, o qual exige uma abordagem preventiva e holística, identificando e avaliando riscos em todas as etapas do sistema de abastecimento. Acredita-se que importância de considerar a bacia hidrográfica como um todo está relacionada à identificação das possíveis fontes de contaminação que impactam diretamente a qualidade da água captada, uma vez que as atividades agrícolas na bacia, associadas ao uso de defensivos químicos, são fatores primordiais que podem comprometer a qualidade da água. Sendo assim, a análise da sazonalidade das culturas se mostra essencial, pois o uso de agrotóxicos tende a variar ao longo do ano, de acordo com as práticas agrícolas.
- **Conformidade com as Normativas:** Destaca-se a verificação de conformidade com os anexos da Portaria GM/MS nº 888/2021 e com a Portaria SES nº 1468 de Santa Catarina, que apresenta exigências adicionais e mais rigorosas. Acredita-se que essa necessidade de maior controle em Santa Catarina se justifica pela grande área cultivada e elevada produtividade agrícola, particularmente para culturas como milho e soja, conforme aponta os dados do Observatório Agro Catarinense. A intensiva atividade agrícola requer o uso

significativo de agrotóxicos para controle de pragas e manutenção da produtividade, o que pode aumentar os riscos de contaminação de bacias hidrográficas. Como consequência, há a potencial presença de substâncias químicas indesejáveis e prejudiciais para os usuários dessa água captada. Dessa forma, observa-se a necessidade de regulamentações mais rigorosas para o monitoramento da qualidade da água no estado.

- **Eficiência de Ações Corretivas:** Após a avaliação da conformidade, o fluxograma estabelece um ponto de decisão: verificar se o tratamento realizado na ETA foi eficaz na remoção dos agrotóxicos. Caso a remoção não seja suficiente, são previstas ações corretivas, que incluem o reforço das etapas de tratamento e a intensificação do monitoramento para frequência trimestral, além da comunicação às autoridades sanitárias. Nesse ponto é observado que essa etapa foi elaborada levando em consideração não somente em garantir que o tratamento de água seja eficaz, mas também que haja uma resposta rápida e adequada em caso de falhas no sistema de tratamento. Dentro do contexto do PSA, essa abordagem está alinhada às práticas de resposta a não conformidades, em que medidas são tomadas para assegurar que a qualidade da água esteja sempre dentro dos parâmetros seguros estabelecidos pelas regulamentações.

O *checklist* elaborado para esse parâmetro, representado pela Figura 14 – *Checklist* de Monitoramento de Agrotóxicos, aborda o monitoramento de agrotóxicos na água bruta e tratada. Observa-se que a documentação adequada de todas as etapas é fundamental para garantir a rastreabilidade do monitoramento. Ressalta-se também a importância de considerar legislações mais restritivas, tanto em nível nacional quanto estadual. O *checklist* cita os limites estabelecidos no Anexo 9 da Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), além da Portaria SES nº 1468 de Santa Catarina (SANTA CATARINA, 2022), que pode oferecer ações mais restritivas ao contexto regional, reforçando o controle da qualidade da água. Outro ponto observado foi que a análise da sazonalidade das atividades agrícolas e seus impactos na qualidade da água é diretamente vinculada aos princípios fundamentais do PSA. A identificação de períodos críticos, como o aumento do uso de agrotóxicos em épocas

de cultivo intensivo, permite a inclusão dessas variáveis no Plano de Monitoramento e nos Pontos Críticos de Controle (PCCs). Com isso, é possível implementar medidas como ajustes nos processos de tratamento, intensificação da vigilância ou planejamento de ações emergenciais para mitigar potenciais impactos. Por fim, destaca-se que a consideração da sazonalidade no PSA também contribui para a avaliação de riscos microbiológicos e químicos associados às atividades agrícolas, reforçando a proteção das bacias hidrográficas e por consequência visando a segurança da água fornecida (WHO, 2023).

Figura 14 – Checklist de Monitoramento de Agrotóxicos

1 - Início do Ciclo de Amostragem				
	Check		Data de Verificação	Responsável
Iniciar ciclo de amostragem				
Garantir que as amostras sejam coletadas e enviadas para análise				
2 - Definição da frequência de monitoramento				
	Período	Ação a ser tomada		
Períodicidade do monitoramento no Ponto de Captação de Água Bruta	Semestral	Obrigatório. Seguir para o passo 3 - Avaliação da Sazonalidade e Uso na Bacia Hidrográfica		
	Trimestral	Obrigatório, se detectado resíduo na saída do Tratamento de Água. Seguir para o passo 3 - Avaliação da Sazonalidade e Uso na Bacia Hidrográfica		
3- Avaliação da Sazonalidade e Uso na Bacia Hidrográfica				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Conhecimento dos usos agrícolas na bacia hidrográfica do manancial de captação?	SIM	Utilizar informações para elaborar plano de monitoramento. Seguir para o passo 4 - Verificação da Conformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021		
	NÃO	Recomenda-se realizar estudo e introduzir no PSA. Seguir para o passo 4 - Verificação da Conformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021 (Anexo 9)		
Conhecimento da sazonalidade das culturas e seus possíveis impactos na qualidade da água?	SIM	Utilizar informações para elaborar plano de monitoramento. Seguir para o passo 4 - Verificação da Conformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021		
	NÃO	Recomenda-se realizar estudo e introduzir no PSA. Seguir para o passo 4 - Verificação da Conformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021 (Anexo 9)		
4 - Verificação da Conformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021 (Anexo 9)				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Concentração de agrotóxicos está dentro dos limites estabelecidos no Anexo 9 da Portaria GM/MS nº 888/2021?	SIM	Seguir para passo 5 - Verificação da Conformidade com a Portaria SES nº 1468 de Santa Catarina		
	NÃO	Seguir para passo 6 - Remoção do Contaminante na ETA		
5 - Verificação da Conformidade com a Portaria SES nº 1468 de Santa Catarina				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Concentração de agrotóxicos está dentro dos limites estabelecidos na Portaria SES nº 1468 de Santa Catarina?	SIM	Fim desse ciclo. Iniciar um novo ciclo de monitoramento		
	NÃO	Seguir para passo 6 - Remoção do Contaminante na ETA		
6 - Remoção do Contaminante na ETA				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Contaminante é passível de remoção na ETA?	SIM	Fim desse ciclo. Iniciar um novo ciclo de monitoramento		
	NÃO	Realizar um novo ciclo de monitoramento trimestral e implementar ações corretivas para tentar remover o contaminante da água tratada		

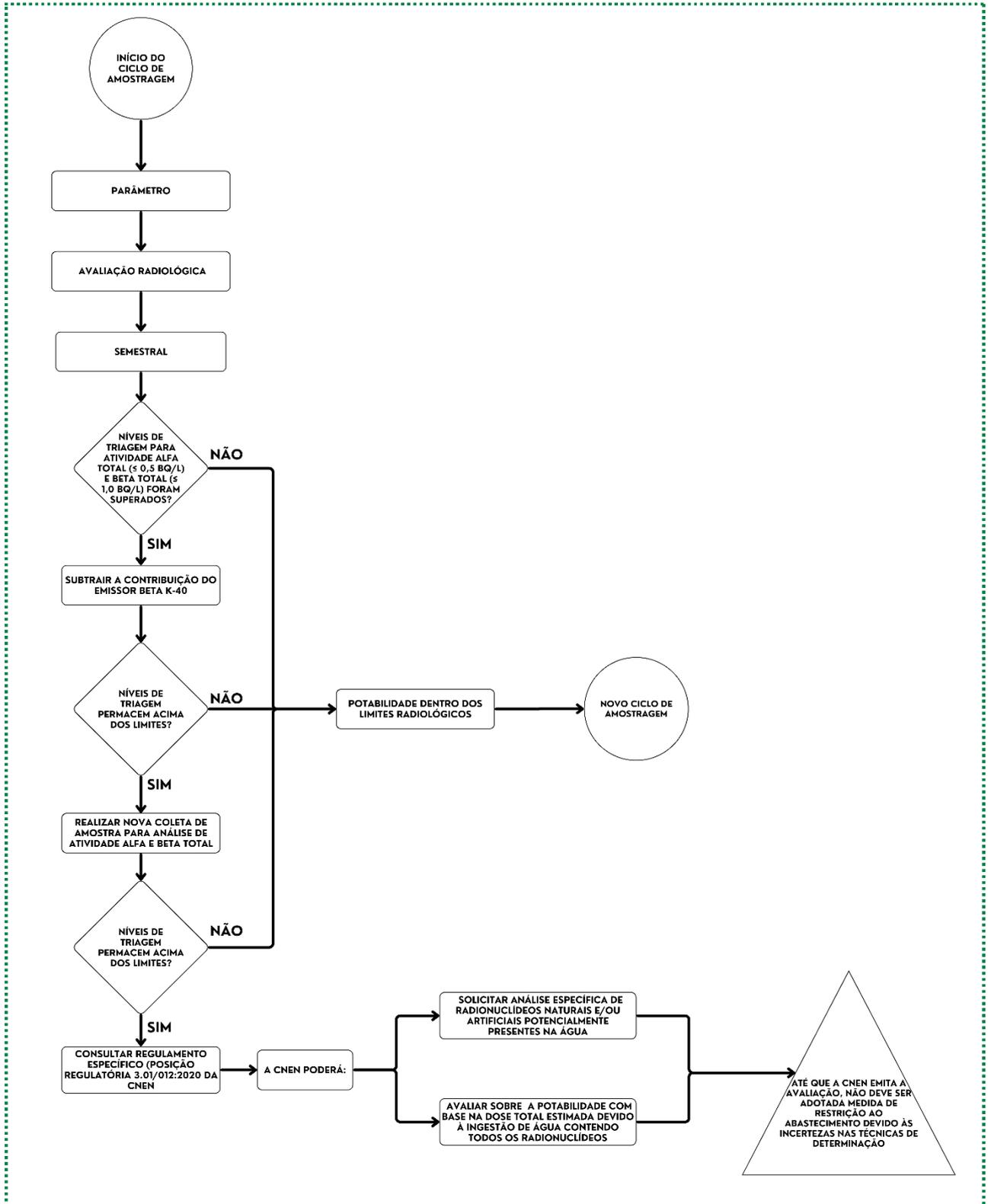
Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.4.4. Monitoramento de Limites Radiológicos

O monitoramento dos limites radiológicos, conforme descrito no fluxograma da Figura 15 – Fluxograma do Monitoramento dos Limites Radiológicos, é fundamentado no artigo 37 da Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021). A avaliação é realizada especificamente na rede de distribuição, diferentemente dos demais parâmetros, que são monitorados desde o ponto de captação de água bruta.

Foi observado que o artigo menciona que, caso os valores de alfa e beta permaneçam acima dos níveis de triagem, deve-se consultar o regulamento específico da Comissão Nacional de Energia Nuclear (CNEN) para saber como proceder. A CNEN por sua vez é o órgão responsável pela regulamentação, fiscalização e pesquisa no setor nuclear brasileiro, garantindo a segurança e proteção radiológica nas atividades que envolvem materiais radioativos, conforme padrões rigorosos de proteção ao meio ambiente e à saúde pública (CNEN, 2024).

Figura 15 – Fluxograma do Monitoramento dos Limites Radiológicos

REDE DE DISTRIBUIÇÃO
DE ÁGUA

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Durante a análise da legislação e da elaboração do fluxograma, foi possível observar alguns pontos destacados abaixo:

- **Frequência de amostragem:** Conforme estipulado no artigo 37 da Portaria a avaliação deve ser feita de maneira semestral.
- **Níveis de Triagem Alfa e Beta:** Observa-se que os fatores alfa ($\leq 0,5$ Bq/L) e beta ($\leq 1,0$ Bq/L) determinam um critério inicial para avaliar a segurança radiológica da água distribuída. Caso esses níveis não sejam excedidos, a água é considerada dentro dos limites radiológicos, encerrando-se o ciclo de amostragem, o que evidencia conformidade direta com as exigências normativas.
- **Níveis de Triagem superados:** Caso os níveis de triagem sejam superados, realiza-se a subtração da contribuição do emissor beta K-40, um radionuclídeo natural presente na água. Esta etapa é importante para reduzir falsos positivos que possam indicar níveis de contaminação superiores ao real, uma vez que o K-40 não é considerado um risco significativo para a saúde em pequenas quantidades. Como uma garantia do resultado, caso os níveis ainda estiverem acima dos limites de triagem após a subtração do K-40, deve ser feita uma nova coleta para confirmar os resultados.
- **Consulta à CNEN e Análises Específicas:** Persistindo o problema, o fluxo direciona para a consulta à CNEN, conforme indicado na Posição Regulatória 3.01/012:2020. Esta ação envolve a solicitação de análises específicas de radionuclídeos naturais e/ou artificiais presentes na água, possibilitando uma avaliação aprofundada sobre a origem da contaminação. A CNEN é responsável por avaliar a potabilidade da água com base na dose total estimada devido à ingestão de água contendo radionuclídeos, visando assegurar que a exposição radiológica não ultrapasse os limites aceitáveis para a saúde humana. Um ponto importante destacado nesse artigo é a decisão de não interromper ou restringir o abastecimento de água até que a CNEN emita seu parecer, considerando as incertezas associadas às técnicas de determinação da contaminação. Essa abordagem pode gerar críticas, uma vez que, tratando-se de parâmetros radiológicos, existe um potencial risco à saúde humana, o que exige uma resposta rápida e precisa.

O *checklist* da Figura 16 – *Checklist* do Monitoramento de Avaliação Radiológica, destacou a importância de registrar cada etapa do processo. Essa prática assegura que o processo permita que qualquer tomada de decisão seja fundamentada em dados claros e verificáveis. A documentação detalhada possibilita avaliar a necessidade de ações específicas, como a exclusão da contribuição do emissor beta K-40 ou a solicitação de análises complementares à CNEN. Em situações de inconformidade, o registro das informações desempenha um papel essencial ao fornecer dados para consultas às autoridades competentes, além de oferecer um histórico que justifica intervenções ou medidas preventivas. Por fim, a documentação contribui significativamente para a gestão de riscos, permitindo a análise histórica de dados para identificar tendências que possam indicar potenciais problemas radiológicos, reforçando, assim, a segurança e a confiabilidade do sistema de abastecimento de água.

Figura 16 – *Checklist* do Monitoramento de Avaliação Radiológica

1 - Início do Ciclo de Amostragem				
	Chek		Data de Verificação	Responsável
Definição dos pontos de amostragem dentro da rede de distribuição de água				
Iniciar ciclo semestral de amostragem				
Garantir que as amostras sejam coletadas e enviadas para análise				
2 - Análise dos Níveis de Atividade Alfa e Beta Total				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Nível de triagem Alfa e Beta total	Alfa \leq 0,5 Bq/L Beta \leq 1,0 Bq/L	Potável. Iniciar um novo ciclo de monitoramento		
	Alfa $>$ 0,5 Bq/L Beta $>$ 1,0 Bq/L	Seguir para o passo 3 - Subtração da Contribuição do Emissor Beta K-40		
3 - Subtração da Contribuição do Emissor Beta K-40				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Ao subtrair a contribuição do emissor Beta K-40 os níveis de triagem permanecem acima dos limites?	SIM	Repetir passo 2 - Análise dos Níveis de Atividade Alfa e Beta Total e posteriormente seguir para o passo 4 - Avaliação dos Resultados da Nova Coleta		
	NÃO	Potável. Iniciar um novo ciclo de monitoramento		
4 - Avaliação dos Resultados da Nova Coleta				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Nível de triagem Alfa e Beta total ainda permanecem acima dos limites?	SIM	Seguir para o passo 5 - Consulta à CNEN		
	NÃO	Potável. Iniciar um novo ciclo de monitoramento		
5 - Consulta à CNEN				
	Verificação	Ação a ser tomada		
Avaliação da CNEN	POSITIVA	Potável. Iniciar um novo ciclo de monitoramento		
	NEGATIVA	Adotar medidas de restrição ou interrupção do abastecimento		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

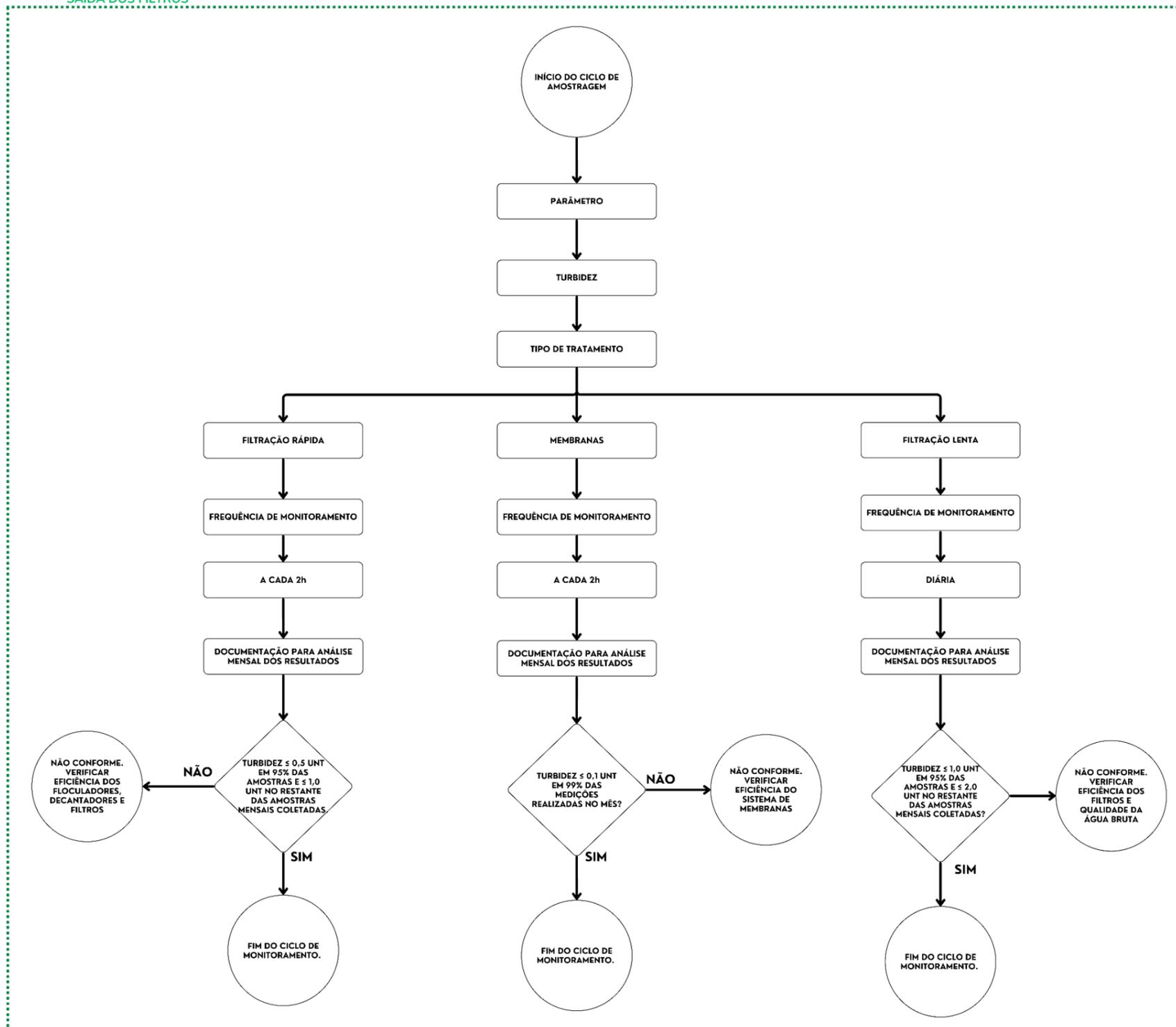
4.4.5. Monitoramento de Turbidez na ETA

Conforme indicado no fluxograma da Figura 17 – Fluxograma do Plano de Monitoramento de Turbidez, esse parâmetro, quando analisado na ETA, segue as diretrizes estabelecidas pela Portaria GM/MS nº 888/2021, particularmente o artigo 28 e o Anexo II, que definem os limites a serem respeitados conforme o tipo de tratamento aplicado. É importante destacar que, embora o parágrafo 2º do referido artigo não tenha sido incluído diretamente no fluxograma, ele desempenha um papel fundamental no controle da qualidade da água, pois estabelece o VMP para turbidez em todo o sistema de distribuição, incluindo reservatórios, redes de distribuição e pontos de consumo. Esse parâmetro deve ser rigorosamente mantido abaixo de 5,0 UNT, conforme determina a Portaria, para garantir a potabilidade da água e reduzir os riscos à saúde pública.

Outro ponto importante a ser destacado é que todo o ciclo de monitoramento descrito no fluxograma é realizado na saída dos filtros da ETA. Monitorar na saída dos filtros é fundamental para verificar a eficiência imediata do processo de filtração e assegurar que os parâmetros de turbidez estejam dentro dos padrões estabelecidos, garantindo que a água esteja em condições adequadas para o consumo humano.

Figura 17 – Fluxograma do Plano de Monitoramento de Turbidez

ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÁGUA -
SAÍDA DOS FILTROS



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Abaixo segue as considerações feitas durante a elaboração da referida Árvore de decisões.

- **Tipo de Tratamento:** O parâmetro escolhido segue três caminhos de acordo com o tipo de tratamento: filtração rápida, membranas e filtração lenta. Observou-se que a escolha do tipo de tratamento determina a frequência do monitoramento e os valores aceitáveis de turbidez. Essa abordagem é importante, pois cada tipo de filtração possui características distintas em termos de eficiência e capacidade de remoção de partículas.
- **Frequência de Monitoramento:** Foi observado que o fluxograma descreve três caminhos possíveis para o monitoramento da turbidez, dependendo do tipo de tratamento. Observou-se que, no caso da filtração rápida e filtração por membranas, a frequência de monitoramento é a cada 2 horas, o que garante que qualquer variação significativa na turbidez seja detectada rapidamente. Esta exigência está em conformidade com a Portaria GM/MS nº 888/2021, que impõe padrões rigorosos de frequência de monitoramento para tecnologias com maiores velocidades de filtração, devido ao maior risco de passagem de partículas indesejadas. No caso da filtração lenta, a frequência do monitoramento é diária, o que está de acordo com a menor vulnerabilidade desse tipo de filtração a variações bruscas de turbidez.
- **Documentação, Análise Mensal e Verificação da Conformidade dos Resultados:** Após a coleta dos dados, a análise dos resultados é realizada mensalmente, documentando todas as medições realizadas durante o período. Foi observado que cada tipo de filtração possui critérios específicos para aceitação dos resultados de turbidez, conforme o Anexo 2 da Portaria GM/MS nº 888/2021. Na filtração rápida, o valor de turbidez deve ser inferior a 0,5 uT em 95% das amostras mensais; caso não seja atendido, é necessário verificar a eficiência das etapas de floculação, decantação e dos filtros, identificando possíveis problemas de desempenho. Para membranas, a turbidez deve ser inferior a 0,1 uT em 95% das medições mensais, refletindo a alta capacidade das membranas de remover partículas menores. Em caso de não

conformidade, a eficiência do sistema de membranas deve ser revista. Já na filtração lenta, a turbidez deve ser inferior a 1,0 uT em 95% das amostras mensais coletadas; se esse limite não for atingido, a eficiência dos filtros deve ser analisada e corrigida, garantindo que a água tratada atenda aos padrões de qualidade.

O *checklist* desse parâmetro está indicado na Figura 18 – *Checklist* do Plano de Monitoramento da Turbidez na ETA, onde foi possível observar que a sua estrutura serviu como suporte para adaptar o monitoramento de turbidez às particularidades de cada tecnologia conforme indicado também no fluxograma, buscando alinhar aos padrões normativos. A documentação mensal dos resultados mostrou-se uma importante ferramenta para assegurar o rastreio, identificar tendências e avaliar a eficiência de filtros e sistemas de membranas. Além disso, verificou-se que o registro adequado das análises e das ações corretivas facilita a gestão de não conformidades, permitindo que os gestores identifiquem as causas dos problemas, implementem melhorias direcionadas e previnam recorrências.

Figura 18 – Checklist do Plano de Monitoramento da Turbidez na ETA

1 - Início do Ciclo de Amostragem				
	<i>Chek</i>	<i>Ação a ser tomada</i>	<i>Data de Verificação</i>	<i>Responsável</i>
Determinação do tipo de tratamento	Filtração Rápida	Seguir para o passo 2 - Definição da frequência de monitoramento para Turbidez em Filtração Rápida		
	Membranas	Seguir para o passo 3 - Definição da frequência de monitoramento para Turbidez em Membranas		
	Filtração Lenta	Seguir para o passo 4 - Definição da frequência de monitoramento para Turbidez em Filtração Lenta		
Iniciar ciclo de amostragem conforme parâmetro escolhido				
Garantir que as amostras sejam coletadas e enviadas para análise				
2 - Definição da frequência de monitoramento para Turbidez em Filtração Rápida				
		<i>Ação a ser tomada</i>		
Frequência de monitoramento	A cada 2h	Seguir para o passo 5 - Verificação dos resultados mensais		
3 - Definição da frequência de monitoramento para Turbidez em Filtração por Membranas				
		<i>Ação a ser tomada</i>		
Frequência de monitoramento	A cada 2h	Seguir para o passo 5 - Verificação dos resultados mensais		
4 - Definição da frequência de monitoramento para Turbidez em Filtração lenta				
		<i>Ação a ser tomada</i>		
Frequência de monitoramento	Diário	Seguir para o passo 5 - Verificação dos resultados mensais		
5 - Documentação dos resultados mensais				
	<i>Chek</i>	<i>Ação a ser tomada</i>		
Filtração Rápida		Seguir para o passo 6 - Verificação dos resultados mensais para Filtração Rápida		
Filtração por Membranas		Seguir para o passo 7 - Verificação dos resultados mensais para Filtração Lenta		
Filtração Lenta		Seguir para o passo 8 - Verificação dos resultados mensais para Filtração por Membranas		
6 - Verificação dos resultados mensais para Filtração Rápida				
	<i>Verificação</i>	<i>Ação a ser tomada</i>		
Turbidez \leq 0,5 UNT em 95% das amostras mensais e \leq 1,0 UNT no restante das amostras?	SIM	Fim do ciclo de amostragem.		
	NÃO	Não conformidade. Verificar eficiência dos floculadores, decantadores e filtros		
7 - Verificação dos resultados mensais para Filtração Lenta				
	<i>Verificação</i>	<i>Ação a ser tomada</i>		
Turbidez \leq 1,0 UNT em 95% das amostras mensais e \leq 2,0 UNT no restante das amostras?	SIM	Fim do ciclo de amostragem.		
	NÃO	Não conformidade. Verificar eficiência dos filtros e qualidade da água bruta		
8 - Verificação dos resultados mensais para Filtração por Membranas				
	<i>Verificação</i>	<i>Ação a ser tomada</i>		
Turbidez \leq 0,1 UNT em 99% das amostras mensais	SIM	Fim do ciclo de amostragem.		
	NÃO	Não conformidade. Verificar eficiência do sistema de membranas		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

4.4.6. Monitoramento Integrado de Água Bruta

Os parâmetros básicos foram estabelecidos de acordo com a Resolução CONAMA nº 357, incluindo DQO, DBO, OD, turbidez, cor verdadeira, pH, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, bem como outros parâmetros inorgânicos e orgânicos. É importante destacar que os PSAA não são obrigados a monitorar os parâmetros definidos pela Resolução CONAMA nº 357. Contudo, o cruzamento das informações monitoradas com os limites esperados para o manancial, conforme a classificação estabelecida pela resolução, pode proporcionar um entendimento mais abrangente da qualidade da água e da relação com a bacia hidrográfica.

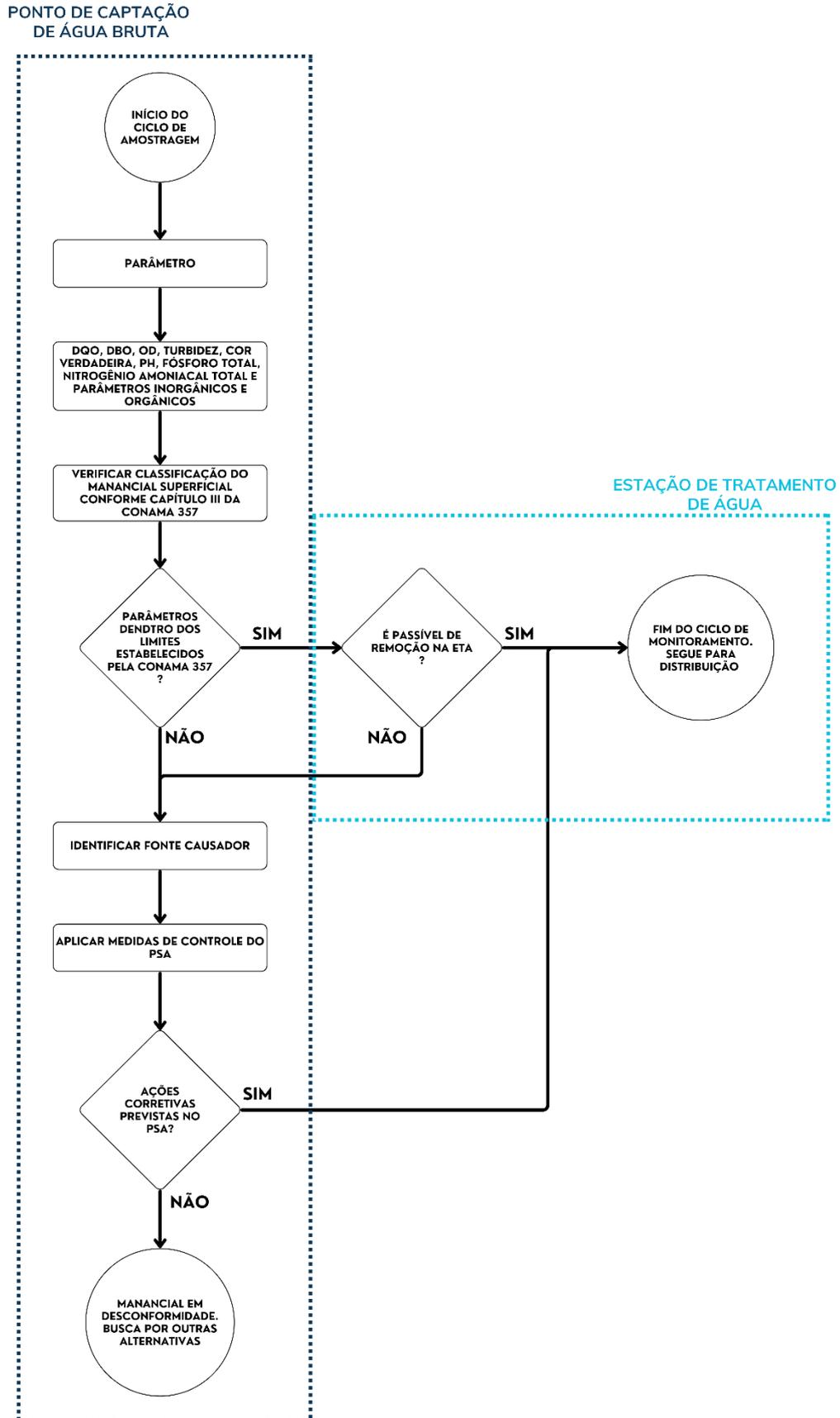
Essa abordagem é relevante para a elaboração e implementação do PSA, pois permite um conhecimento aprofundado das características do manancial e da bacia hidrográfica. Compreender as condições específicas do manancial, como a classe atribuída pela Resolução CONAMA nº 357, os padrões esperados e os impactos de atividades antrópicas ou naturais na bacia, auxilia os PSAA a tomar decisões informadas sobre o tipo de tratamento mais adequado para garantir a qualidade da água. Por exemplo, mananciais com elevados níveis de matéria orgânica ou nutrientes podem demandar etapas adicionais de tratamento, como pré-oxidação ou remoção de fósforo e nitrogênio.

Além disso, o conhecimento mais detalhado do manancial contribui para a identificação de riscos e a priorização de medidas de controle preventivas, que são fundamentos do PSA. Essa integração entre os parâmetros monitorados pela Portaria GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021) e os padrões esperados para o manancial pela Resolução CONAMA nº 357 (CONAMA, 2005) fortalece a gestão dos recursos hídricos e é uma ferramenta de proteção a qualidade da água e a segurança do abastecimento.

Considerar essa Resolução foi fundamental, pois o monitoramento dos parâmetros estabelecidos norteia a definição do tipo de tratamento necessário para tornar a água potável, garantindo a segurança e a qualidade do abastecimento para os consumidores. Além disso, a utilização da ABNT NBR ISO 24510 complementa essa abordagem ao fornecer diretrizes para a avaliação e melhoria da qualidade dos serviços de abastecimento. Para assegurar a eficácia desse processo, o ciclo PDCA foi utilizado como metodologia prática para garantir a melhoria contínua do sistema, sendo demonstrada de forma visual no fluxograma da Figura 19 – Fluxograma do

Monitoramento . Na etapa de "Planejar", definem-se as estratégias de monitoramento, incluindo os parâmetros básicos definidos pela Resolução CONAMA nº 357. Em seguida, na fase de "Executar", realiza-se o monitoramento e as ações de tratamento conforme os padrões de qualidade. A fase de "Verificar" consiste na análise dos resultados obtidos em comparação com as normas estabelecidas, enquanto "Agir" implica na implementação de ações corretivas e preventivas, assegurando assim a qualidade da água e a conformidade com os requisitos regulatórios.

Figura 19 – Fluxograma do Monitoramento Integrado de Água Bruta



Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

Dito isso, alguns pontos foram relevantes e suas observações citadas abaixo:

- **Verificação da Classificação do Manancial:** Foi observado que a classificação do manancial superficial, conforme o Capítulo III da Resolução CONAMA nº 357, é essencial para determinar os padrões de qualidade aplicáveis, pois cada classe de corpo d'água possui requisitos específicos, permitindo avaliar se os parâmetros da água estão dentro dos limites estabelecidos pela resolução.
- **Ponto de Decisão - Conformidade dos Parâmetros:** Nesse ponto observou-se que se os parâmetros monitorados estão dentro dos limites estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 357, o tratamento e distribuição da água podem prosseguir normalmente, indicando conformidade com os requisitos ambientais e garantindo a qualidade adequada da água para o tratamento na ETA. Caso contrário, é necessário identificar a fonte do problema, envolvendo inclusive uma avaliação mais ampla da bacia hidrográfica para identificar atividades potencialmente impactantes.
- **Identificação da Fonte Causadora e Aplicação das Medidas de Controle:** Foi observado que, caso os parâmetros de qualidade não estejam dentro dos limites estabelecidos, é necessário realizar uma investigação para identificar a causa da contaminação ou poluição. Em seguida, são aplicadas medidas de controle do PSA para mitigar os riscos identificados. Esta etapa está diretamente associada aos Módulos 3 e 4 do Manual do PSA, que tratam da identificação de perigos e da validação das medidas de controle existentes, respectivamente. Esses módulos reforçam a importância de identificar eventos perigosos e validar continuamente as ações tomadas para garantir a segurança da água fornecida.
- **Eficácia das Medidas de Controle:** Foi analisado que, após a implementação das medidas de controle do PSA, verifica-se se essas ações fazem com que a conformidade da qualidade da água seja restabelecida. Caso sejam eficazes, o ciclo de amostragem prossegue normalmente; caso contrário, o manancial é considerado em desconformidade, demandando alternativas, como por exemplo fontes de água alternativas ou tecnologias de tratamento mais avançadas.

- **Remoção na ETA e fim do ciclo de monitoramento:** Foi observado que, caso os parâmetros da água bruta estejam fora dos limites estabelecidos, mas o contaminante possa ser removido na ETA, o tratamento deve ser reforçado para garantir a adequação da água para distribuição. O monitoramento, nesse contexto, é mantido até que os padrões de qualidade sejam alcançados, assegurando a conformidade com a Resolução CONAMA nº 357 e a potabilidade exigida pela Portaria GM/MS nº 888/2021. O ciclo de monitoramento é encerrado quando os parâmetros estão dentro dos limites estabelecidos, permitindo a distribuição da água tratada com segurança para consumo humano.

O *checklist* desses parâmetros básicos, conforme demonstrado na Figura 20 – *Checklist* do Monitoramento Integrado de Água Bruta, permitiu observar que a relação entre os limites da Resolução CONAMA nº 357 e as exigências da Portaria GM/MS nº 888/2021 destaca a importância de comparar legislações nacionais e específicas para garantir o alinhamento regulatório, uma vez que a Portaria GM/MS nº 888/2021 foca diretamente na qualidade da água para consumo humano, enquanto a Resolução CONAMA nº 357 estabelece padrões para corpos hídricos de maneira mais abrangente. Essa comparação permite avaliar se há requisitos mais restritivos e adaptar o monitoramento e as práticas de tratamento às exigências mais rigorosas, especialmente quando o manancial apresenta características críticas que impactam diretamente a qualidade da água captada. Conhecer as características do manancial de captação, e, portanto, realizar o monitoramento desses parâmetros básicos da respectiva Resolução, permite avaliar de forma preventiva os riscos associados, como fontes de contaminação pontuais e difusas, variações sazonais na qualidade da água e impactos de atividades humanas na bacia hidrográfica.

Figura 20 – Checklist do Monitoramento Integrado de Água Bruta

1 - Início do Ciclo de Amostragem				
	<i>Chck</i>	<i>Ação a ser tomada</i>	<i>Data de Verificação</i>	<i>Responsável</i>
Identificar os parâmetros a serem monitorados: DQO, DBO, OD, turbidez, cor verdadeira, pH, fósforo total, nitrogênio amoniacal total e outros parâmetros inorgânicos e orgânicos.		Seguir para o passo 2 - Verificação dos Parâmetros dentro dos Limites Estabelecidos pela CONAMA nº 357		
Verificar classificação do manancial superficial		Seguir para o passo 2 - Verificação dos Parâmetros dentro dos Limites Estabelecidos pela CONAMA nº 357		
Definir o plano de amostragem		Executar plano de amostragem		
2 - Verificação dos Parâmetros dentro dos Limites Estabelecidos pela CONAMA nº 357				
	<i>Verificação</i>	<i>Ação a ser tomada</i>		
Parâmetros monitorados estão dentro dos limites definidos?	SIM	Seguir para o passo 4 - Remoção de contaminante na Estação de Tratamento de Água (ETA)		
	NÃO	Seguir para o passo 3 - Identificação da Fonte Causadora de Não Conformidade		
3 - Identificação da Fonte Causadora de Não Conformidade				
	<i>Verificação</i>	<i>Ação a ser tomada</i>		
Fonte causadora identificada?	SIM	Caso possua PSA, seguir para o passo 5 - Aplicação de Medidas de Controle do PSA		
	NÃO	Estudo da área e seguir para o passo 4 - Remoção de contaminante na Estação de Tratamento de Água (ETA)		
4 - Remoção de contaminante na Estação de Tratamento de Água (ETA)				
	<i>Verificação</i>	<i>Ação a ser tomada</i>		
Contaminante é passível de remoção na ETA?	SIM	Fim desse ciclo. Iniciar um novo ciclo de monitoramento		
	NÃO	Não conformidade. Buscar soluções que removem os contaminantes		
5 - Aplicação de Medidas de Controle do PSA				
	<i>Verificação</i>	<i>Ação a ser tomada</i>		
Medidas de controle foram eficazes na resolução do problema?	SIM	Fim desse ciclo. Iniciar um novo ciclo de monitoramento		
	NÃO	Manancial em desconformidade, buscar outras alternativas		

Fonte: Elaborado pelo autor (2024)

5 CONCLUSÃO

Considerando a complexidade e a abrangência das regulamentações existentes, observou-se que a filtragem e análise criteriosa das legislações foram essenciais para a seleção das normativas mais relevantes, como a Portaria GM/MS nº 888/2021, as portarias estaduais mais restritivas e a Resolução CONAMA nº 357, alinhando aos padrões normativos nacionais, regionais e às diretrizes para a verificação da conformidade no quesito de monitoramento da qualidade de água (sistemas com captação superficial). Essa integração entre legislações permitiu não apenas a conformidade legal, mas também a criação de um instrumento que auxilia no monitoramento da qualidade da água e na tomada de decisões.

As NBRs seguiram a mesma lógica, sendo um campo amplo e abrangente; contudo, a filtragem criteriosa das normas permitiu que o trabalho se concentrasse nas mais relevantes ao tema abordado, como a NBR 17080, que trata diretamente do PSA. Esse enfoque proporcionou uma integração entre as obrigações estabelecidas pelas legislações e portarias e as orientações normativas, facilitando a implementação em conjunto de um sistema e alinhado às diretrizes técnicas e regulatórias.

A elaboração dos fluxogramas dos parâmetros e do plano de amostragem anual demonstrou ser uma estratégia eficiente para a interpretação das legislações, simplificando a visualização e destacando os pontos críticos de tomada de decisão. Considerando a complexidade de legislações extensas, como a Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 357, o uso dos fluxogramas facilita a análise de normas que, muitas vezes, apresentam orientações dispersas e descritas implicitamente, dificultando sua aplicação prática por profissionais que não possuem familiaridade com essas regulamentações. Essa simplificação não apenas minimiza o risco de não cumprimento de obrigações legais, mas também promove maior alinhamento às exigências normativas. A implementação de estratégias baseadas em árvores de decisão mostrou-se, portanto, essencial e de grande benefício. Contudo, recomenda-se expandir essa abordagem para os demais parâmetros não contemplados no presente trabalho, garantindo uma verificação ainda mais abrangente e consistente das conformidades exigidas pelas legislações aplicáveis aos SAA.

Os *checklists* elaborados a partir dos fluxogramas mostraram-se uma ferramenta objetiva e prática, facilitando a tomada de decisões em cada etapa descrita no processo. Essa abordagem destacou a importância de registrar detalhadamente quem realizou cada ação, a data correspondente e demais informações relevantes, assegurando a documentação completa de todo o processo. Esse registro sistemático não apenas torna o monitoramento mais eficiente, mas também, em caso de estudos futuros, pode se consolidar como uma ferramenta de grande importância para os gestores de SAA, promovendo maior controle, rastreabilidade e alinhamento às exigências normativas.

Cabe ressaltar a relevância da consideração à metodologia de PSA ao longo de toda a elaboração deste trabalho, bem como sua importância para os SAA. O PSA proporciona uma visão abrangente e integrada de todo o sistema, permitindo identificar riscos potenciais, priorizar ações preventivas e garantir a segurança e a qualidade da água desde a captação até o consumo final. Além disso, ao estar alinhado com outras legislações, como a Portaria GM/MS nº 888/2021 e a Resolução CONAMA nº 357, o PSA se torna uma ferramenta ainda mais robusta, pois integra as exigências legais aos procedimentos práticos de gestão e controle, promovendo conformidade normativa, eficiência operacional e maior proteção à saúde pública.

Por fim, conclui-se que foi possível identificar uma ferramenta prática para o monitoramento da qualidade da água em operação de SAA, visando sua adequação às diretrizes existentes. A ferramenta desenvolvida, com foco na verificação de conformidades em PSA para mananciais de captação superficial, demonstrou-se promissora para auxiliar gestores na garantia da qualidade da água e no cumprimento das normativas vigentes. Entretanto, destaca-se que o estudo se limitou a mananciais de captação superficial, devido ao maior interesse nas características particulares desses sistemas, como a maior vulnerabilidade a interferências externas e variações sazonais. Recomenda-se que futuros trabalhos ampliem o escopo para incluir mananciais de captação subterrânea, explorando as peculiaridades desses sistemas, como a maior estabilidade na qualidade da água, mas com potenciais desafios relacionados à sua contaminação.

O trabalho apresenta potencial para aplicação em sistemas de gerenciamento de dados, sugerindo a possibilidade de integrar a ferramenta em plataformas online. A criação de sistemas digitais que utilizem dispositivos móveis e tecnologias de Internet das Coisas (IoT) pode facilitar o registro, o monitoramento em tempo real e a

análise dos parâmetros da qualidade da água, promovendo maior eficiência e agilidade na gestão, como por exemplo fornecer alertas automáticos em caso de não conformidades e integrar informações com as bases de dados de autoridades reguladoras, melhorando a comunicação e a transparência. Assim, o presente estudo não apenas contribui com uma abordagem para a verificação de conformidades no setor de abastecimento de água através da criação de ferramentas, mas também abre caminhos para futuras inovações tecnológicas no setor.

REFERÊNCIAS

ABNT. **NBR ISO 24510**: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto – Diretrizes para a avaliação e para a melhoria dos serviços prestados aos usuários. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.

ABNT. **NBR ISO 24511**: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto – Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de esgoto e para a avaliação dos serviços de esgoto. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.

ABNT. **NBR ISO 24512**: Atividades relacionadas aos serviços de água potável e de esgoto – Diretrizes para a gestão dos prestadores de serviços de água e para a avaliação dos serviços de água potável. Rio de Janeiro: ABNT, 2012. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.

ABNT. **NBR 10156**: Limpeza e desinfecção de tubulações e reservatórios de sistema de abastecimento de água – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.

ABNT. **NBR 12216**: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.

ABNT. **NBR 17080**: Plano de segurança da água – Princípios e diretrizes para elaboração e implementação. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. Disponível em: <https://www.abnt.org.br>. Acesso em: 24 out. 2024.

AGERST-RS. **Plano de Segurança da Água**. Disponível em: <https://agerst-rs.com.br/wp-content/uploads/2023/05/PLANO-DE-SEGURANCA-DAS-AGUAS.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024.

BERNARDO, Desirée Bridgitt de França. **Avaliação de Ferramentas de Monitoramento da Qualidade da Água em Sistemas de Abastecimento**. Revista GEAMA, v. 4, n. 1, p. 15-25, 2023. Disponível em: <https://www.journals.ufrpe.br/index.php/geama/article/view/6085/482485110>. Acesso em: 20 set. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 5.440, de 4 de maio de 2005**. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle e a vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2005/decreto/d5440.htm. Acesso em: 02 set. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 76.872, de 22 de dezembro de 1975**. Aprova normas e padrões para a fluoretação das águas em sistemas públicos de abastecimento. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/antigos/d76872.htm. Acesso em: 02 set. 2024.

BRASIL. **Decreto nº 79.367, de 9 de março de 1977.** Regulamenta a Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974, que dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas de abastecimento público. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1970-1979/d79367.htm. Acesso em: 02 set. 2024.

BRASIL. **Diagnóstico dos Serviços de Abastecimento de Água - 2019.** Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, Secretaria Nacional de Saneamento, 2020. Disponível em: <https://sisagua.saude.gov.br/sisagua/paginaExterna.jsf>. Acesso em: 25 set. 2024.

BRASIL. **Diretriz nacional para o plano de amostragem da qualidade da água para consumo humano.** Brasília: Ministério da Saúde, 2016. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/diretriz_nacional_plano_amostragem_agua.pdf. Acesso em: 24 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 6.050, de 24 de maio de 1974.** Dispõe sobre a fluoretação da água em sistemas públicos de abastecimento quando existir estação de tratamento. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6050.htm. Acesso em: 02 set. 2024.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** Atualiza o marco legal do saneamento básico. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_Ato2019-2022/2020/Lei/L14026.htm#art7. Acesso em: 1 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Plano de Segurança da Água: garantia da qualidade e proteção da saúde.** Brasília: Ministério da Saúde, 2019. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/publicacoes/plano_seguranca_agua_qualidade_sus.pdf. Acesso em: 24 jul. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 5, de 3 de outubro de 2017.** Aprova diretrizes e estratégias para a melhoria da qualidade da água para consumo humano no Brasil. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2017/prc0005_03_10_2017.html. Acesso em: 20 ago. 2024.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021.** Disponível em: <https://www.gov.br/saude/pt-br>. Acesso em 21 ago. 2024.

BRASIL. **Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005.** Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_enqaguas.pdf. Acesso em: 15 set. 2024.

CARVALHO, A. P. **Ferramenta de gestão para monitoramento da qualidade da água em estações de tratamento.** Universidade Federal do Tocantins, 2016. Disponível em: <https://umbu.uft.edu.br/bitstream/11612/746/1/Aurean%20de%20Paula%20Carvalho%20-%20Dissertação.pdf>. Acesso em: 15 set. 2024

COMISSÃO NACIONAL DE ENERGIA NUCLEAR (CNEN). **Folder institucional da CNEN.** Brasília: CNEN, 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/cnen/pt-br/material->

divulgacao-videos-imagens-publicacoes/publicacoes-1/FolderCNENportugus.pdf.
Acesso em: 12 nov. 2024.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Tratamento de água**. São Carlos: RiMa, 2005.

DIAS, Susana. **Modelação da Qualidade da Água em Sistemas de Abastecimento Público**. 2010. Dissertação (Mestrado) — Universidade de Évora, Évora, 2010. Disponível em: <https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/14047/1/Disserta%20de%20Mestrado%20-%20Susana%20Dias.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2024.

FORTES, A. C. C. **Epidemiologia da Água no Brasil**. Fundação Oswaldo Cruz, 2018. Disponível em: https://www.arca.fiocruz.br/bitstream/handle/icict/61969/ana_carolina_chaves_fortes_ensp_mest_2018.pdf?sequence=2&isAllowed=y. Acesso em: 1 ago. 2024.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE (FUNASA). **Abastecimento de água potável**. Brasília: FUNASA, 2024. Disponível em: <https://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento%2Bde%2B%C3%81gua%2BPot%C3%A1vel.pdf/c42e2752-7de2-4a0b-a751-fa352f1bdb3?version=1.0>. Acesso em: 20 out. 2024.

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE. **Abastecimento de Água Potável**. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Abastecimento+de+%C3%81gua+Pot%C3%A1vel.pdf/c42e2752-7de2-4a0b-a751-fa352f1bdb3?version=1.0>. Acesso em: 1 ago. 2024.

HELLER, L. (2011). **Plano Nacional de Saneamento Básico: diretrizes e objetivos**. Revista Brasileira de Pesquisa em Ciências da Saúde. Disponível em: <https://www.scielo.org/article/rsp/2018.v52/11>. Acesso em: 13 out. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Benefícios Econômicos do Saneamento no Brasil**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/11/Beneficios-economicos-do-saneamento-no-Brasil.pdf>. Acesso em: 1 mai. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **ESG e Tendências no Setor de Saneamento do Brasil**. Disponível em: <https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2023/02/ESG-e-Tendencias-no-Setor-de-Saneamento-do-Brasil-ITB.pdf>. Acesso em: 1 mai. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Press Release: Saneamento e Saúde**. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/PRESSRELEASE_SANEAMENTO_E_SAUDE_1.pdf. Acesso em: 1 mai. 2024.

INSTITUTO TRATA BRASIL. **Sumário Executivo: Saneamento e Saúde 2021**. Disponível em: https://tratabrasil.org.br/wp-content/uploads/2022/09/Sumario_Executivo_-_Saneamento_e_Saude_2021__2.pdf. Acesso em: 1 mai. 2024.

KAUFFMAN, Marcelo. **Qualidade de água no Reservatório de Lajes: ocorrência de cianobactérias e cianotoxinas**. 2021. 111 f. Dissertação (Mestrado Profissional

em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2021. Disponível em: <https://www.bdttd.uerj.br:8443/bitstream/1/22263/2/Disserta%c3%a7%c3%a3o%20-%20Marcelo%20Kauffman%20-%202021%20-%20Completa.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2024.

KROLOW, A. R.; ROSA, R. C.; RUSCHEL, J. L. **Estudo do desempenho da pavimentação permeável em uma via urbana no município de Joinville/SC**. Revista Perspectivas Online: Exatas & Engenharia, [S. l.], v. 12, n. 38, p. 202-213, 2022. Disponível em: https://www.perspectivasonline.com.br/exatas_e_engenharia/article/view/2519/2369. Acesso em: 28 jul. 2024.

LOPES, G. J. R. (2008). **Avaliação da turbidez e do tamanho de partículas como parâmetros indicadores da remoção de oocistos de *Cryptosporidium spp.* nas etapas de clarificação no tratamento da água em ciclo completo**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Viçosa. Disponível em: <https://locus.ufv.br/server/api/core/bitstreams/a7bfe94d-1eef-421a-91ae-8316bda229ea/content>. Acesso em: 20 nov. 2024.

MINISTÉRIO DAS CIDADES. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS)**. Área do Prestador e Municípios. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/area-do-prestador-e-municipios>. Acesso em: 30 nov. 2024.

MONDARDO, Luciana. **Degradação de microcistinas por oxidação química e biodegradação**. 2004. Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2004. Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/30368306.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2024.

MORAES, Danielle Serra de Lima; JORDÃO, Berenice Quinzani. **Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana**. Revista de Saúde Pública, v. 36, n. 3, p. 370-374, 2002. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rsp/a/qNPRVprxpJZq9bpRKmwRTYC/>. Acesso em: 12 Mai. 2024.

MOURA, M. C. et al. **Análise das etapas do tratamento convencional de água: eficiência e desafios**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 2011. Anais [...]. Disponível em: <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/IX-005.pdf>. Acesso em: 20 out. 2024.

NOLAN, M. A. **A Importância do Saneamento Básico no Brasil**. Disponível em: https://repositorio.ifg.edu.br/bitstream/prefix/291/1/Artigo_Nolan. Acesso em: 1 ago. 2024.

OLIVEIRA, M. S. B.; PINTO, E. J. A. **Sustentabilidade no gerenciamento de sistemas de abastecimento de água**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 26, n. 2, p. 189-197, 2021. Disponível em:

<https://www.scielo.br/j/esa/a/SqVBv8KdnGR9gfJjcvxt73B/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em: 03 set. 2024.

PARANÁ. Secretaria de Estado da Educação. **Protozoários e a Veiculação Hídrica**. Disponível em: http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/2010/artigos_teses/2011/ciencias/03protozoarios_veiculacao_hidrica.pdf. Acesso em: 1 ago. 2024.

RESENDE, Natália; COHEN, Isadora; MARCATO, Fernando. **Gestão Associada da Prestação dos Serviços – O que Muda com o Novo Marco Legal do Saneamento?** São Paulo (SP): Editora Revista dos Tribunais, 2021. Disponível em: <https://www.jusbrasil.com.br/doutrina/o-novo-marco-regulatorio-do-saneamento-basico/1188259493>. Acesso em: 1 ago. 2024.

SANTA CATARINA. **Decreto Estadual nº 1.846, de 20 de dezembro de 2018**. Dispõe sobre a regulação dos serviços públicos de saneamento no Estado de Santa Catarina. Disponível em: <http://server03.pge.sc.gov.br/LegislacaoEstadual/2018/001846-005-0-2018-004.htm>. Acesso em: 20 ago. 2024.

SANTA CATARINA. **Lei nº 16.673, de 11 de agosto de 2015**. Dispõe sobre a fusão da Agência Reguladora de Serviços Públicos de Santa Catarina (AGESC) com a Agência de Regulação de Serviços Públicos de Saneamento Básico do Estado de Santa Catarina (AGESAN) para a criação da Agência de Regulação de Serviços Públicos de Santa Catarina (ARESC). Disponível em: https://leis.alesc.sc.gov.br/html/2015/16673_2015_Lei.html. Acesso em: 02 set. 2024.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Saúde. **Portaria SES nº 1468, de 21 de dezembro de 2022**. Estabelece parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade para substâncias químicas, no controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no Estado de Santa Catarina. Diário Oficial do Estado, 22 dez. 2022. Disponível em: <https://www.vigilanciasanitaria.sc.gov.br/index.php/component/content/article/vigiagua-sc-publicacao-de-nova-portaria-ses-n-1468-de-21-de-dezembro-de-2022.html?catid=9&Itemid=109#:~:text=Esta%20Portaria%20estabelece%20par%C3%A2metros%20adicionais,que%20a%20normativa%20federal%20de>. Acesso em: 02 nov. 2024.

SANTA CATARINA. Secretaria de Estado da Saúde. **Portaria nº 421, de 13 de maio de 2016**. Estabelece o teor ótimo de concentração de íon fluoreto na água destinada ao consumo humano, no Estado de Santa Catarina. Diário Oficial do Estado, 14 mai. 2016. Disponível em: <https://www.saude.sc.gov.br/coronavirus/portarias.html>. Acesso em: 02 nov. 2024.

SANTOS, D. R. dos; OLIVEIRA, L. L. de; CUNHA, S. K. da. **Aplicação do ciclo PDCA na gestão de qualidade de processos operacionais em sistemas de abastecimento de água**. SINGEP, 2014. Disponível em: <https://singep.org.br/3singep/resultado/240.pdf>. Acesso em: 8 ago. 2024.

SANTOS, Eduardo de Jesus; GALVÃO, Nelson Dias de Oliveira; SILVA, Miguel Henrique Cruz da. **Contaminação microbiológica da água e os riscos à saúde: uma revisão**. Cadernos de Saúde Pública, v. 36, n. 4, p. e00235419, 2020. Disponível

em: <https://www.scielo.br/j/csp/a/ptzxTcC5tycHkX7SjFJr3jw/?format=pdf&lang=pt>.
Acesso em: 07 nov. 2024.

SILVA, F. L.; LIMA, M. S.; FONSECA, A. G. **Impactos do uso de agrotóxicos na qualidade da água em regiões agrícolas**. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 19, n. 3, p. 213-221, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbeaa/a/T3mRPxxGYmmXv6LgQVJbxkf/?format=pdf&lang=pt>.
Acesso em: 30 nov. 2024.